UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

CENTRE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS

CASE POSTALE 6128, SUCCURSALE A, MONTRÉAL, QUÉBEC, H3C 3J7

LE CALCUL DES ATTRIBUTS DES OPTIONS POUR UN VOYAGE SUR UN RÉSEAU MULTIMODAL : UNE APPROCHE CONCEPTUELLE ET SA RÉALISATION

par

Isabelle Constantin

Mémoire de M.Sc., département d'Informatique et de Recherche opérationnelle, dirigé par Michael Florian et Heinz Spiess.

Cette étude a été publiée grâce à une subvention du fonds F.C.A.R. pour l'aide et le soutien à la recherche.

Université de Montréal
Centre de recherche sur les transports - Publication #534
Juillet 1986

Dépôt légal - 3e trimestre 1987

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES iv

LISTE DES TABLEAUX iv

SOMMAIRE v

1. INTRODUCTION 1

2. SITUATION DU PROBLEME 4

   2.1 Les modèles désagrégés de choix 4
   2.2 Le calcul de routes optimales 13

3. APPROCHE CONCEPTUELLE 28

   3.1 Concepts et terminologie 28
   3.2 Une procédure pour le calcul des attributs des options individuelles 30
   3.3 Description des outils proposés 36

4. IMPLANTATION 46

   4.1 Le logiciel EMME/2 47
   4.2 L'implantation de DISA 55
   4.3 Les modules de DISA 58

5. EXEMPLE D'UTILISATION 77

6. CONCLUSION 93

APPENDICE A - Description des données associées aux individus 96

BIBLIOGRAPHIE 99

REMERCIEMENTS 102

LISTE DES FIGURES

Figure:		Page:
2-1	Exemple d'un réseau de transport en commun	16
2-2	La stratégie optimale	27
3-1	Fonctionnement d'un filtre	37
3-2	Ensemble des filtres prévus	39
4-1	Fonctionnement d'un filtre dans un environnement EMME/2	56
5-1	Le réseau routier	80
5-2	Le réseau d'autobus local	81
5-3	Le réseau d'autobus régional	82
5-4	Le réseau de métro	83
5-5	Le réseau de train de banlieue - pendel-tog	84
5-6	Le réseau de train de banlieue - jvg	85
5-7	Représentation graphique d'une stratégie	90

LISTE DES TABLEAUX

Tableau:		Page:
2-1	Intervalle des lignes	16
4-1	Les modules de EMME/2	49
5-1	Répartition des voyages	78
5-2	Rapport d'une stratégie	89
5-3	Description des voyages retenus	91

SOMMAIRE

La calibration et l'utilisation de modèles désagrégés de choix dans un contexte de choix de mode ou de destination exige, pour chaque voyageur considéré, l'énumération des options qui lui sont offertes, la détermination de la route qui correspond à chacune de ces options et l'évaluation des attributs de cette route. Dans ce mémoire, nous proposons un ensemble d'outils informatiques qui ont pour but de faciliter l'utilisation de tels modèles.

Les principales fonctions de cet ensemble d'outils sont le calcul de la stratégie optimale entre l'origine et la destination des voyageurs considérés et le calcul des attributs de cette stratégie. Pour remplir ces deux tâches, nous avons adapté l'algorithme d'affectation du transport en commun de Spiess.

Nous décrivons ensuite l'approche et les concepts de base utilisés pour le développement du système DISA. Celui-ci consiste en un ensemble de modules incorporés au logiciel EMME/2. DISA constitue une interface entre des données individuelles et un réseau de transport urbain. Son utilisation déborde le cadre des modèles désagrégés de choix. En effet, ce système permet d'effectuer des analyses très détaillées des déplacements par transport en commun.

1. INTRODUCTION

La prévision de la demande de déplacements occupe une place importante dans le domaine de la planification des transports. Plusieurs approches de modélisation sont disponibles pour ce genre d'études. Les modèles qui en résultent se distinguent, entre autres, par le type de données qu'ils requièrent. Les *modèles agrégés* utilisent des données qui représentent des agrégats de personnes, alors que les *modèles désagrégés* se basent sur des observations individuelles. Pour leur calibration, les modèles agrégés exigent généralement plus de données que les modèles désagrégés, à cause de la perte d'information qu'entraîne l'agrégation.

Une autre distinction entre les diverses approches de modélisation provient du genre de prévisions qu'elles permettent d'effectuer. Les *séries chronologiques*, par exemple, permettent de prévoir la demande en fonction du temps. Les *modèles de choix*, eux, envisagent la demande comme le résultat de choix effectués par des voyageurs.

Dans ce travail, nous nous intéresserons aux *modèles désagrégés de choix* (en anglais "disaggregate choice models" ou "discrete choice models"). Ils requièrent des données individuelles ou "désagrégées". En général, leur but est de prévoir les décisions d'un individu confronté à un choix. Ces modèles sont utilisés dans différents domaines. En effet, les types de choix qu'ils permettent d'analyser sont extrêmement variés: décisions sur l'éducation, choix d'un emploi, choix d'une résidence, détermination du nombre d'enfants, etc. Dans le domaine du transport urbain, auquel nous nous intéresserons plus particulièrement, plusieurs

types de choix peuvent être analysés. En effet, un individu ayant un déplacement à effectuer est confronté à de multiples alternatives: à quel moment de la journée se déplacer? à quelle destination se rendre? quel mode ou quelle combinaison de modes de transport utiliser?

L'analyste qui choisit de calibrer des modèles désagrégés de choix doit énumérer les différentes options que comporte le choix auquel il s'intéresse. Il lui faut ensuite déterminer comment un individu perçoit chacune des options qui lui sont offertes, c'est-à-dire quel coût il associe à chacune d'entre elles. Dans le contexte du transport urbain, à chaque option considérée par un individu correspond la route qu'il prévoit utiliser dans ce cas. La perception qu'un individu a d'une option est influencée par les diverses caractéristiques, ou attributs, de cette route: le temps passé à bord d'un véhicule, le temps d'attente, le nombre de correspondances, etc. L'utilisation de modèles désagrégés de choix dans le contexte du transport urbain exige donc la résolution d'un problème de choix de route sur un réseau de transport, ainsi que l'évaluation des attributs de la route retenue. Evidemment, ces résultats sont difficiles à obtenir de façon manuelle. Or il n'existe pas, à notre connaissance, de logiciels spécialisés pour cette tâche. En fait, certains organismes de planification de transport urbain ont développé leurs propres logiciels mais ceux-ci sont prévus pour une application spécifique et ils ne sont utilisés que de façon interne.

C'est ce qui nous a motivés à réaliser un ensemble d'outils informatiques qui rendent plus facile l'utilisation de modèles désagrégés de choix dans le cadre du transport urbain. Les deux principales fonctions que ces outils doivent remplir sont de calculer la route qui correspond à chacune

des options offertes à chaque individu considéré, et d'évaluer les attributs de cette route. Pour calculer celle-ci, il faut recourir à des méthodes de *calcul de route optimale* sur un réseau multimodal. L'algorithme que nous avons retenu est celui de Spiess (1984), qui repose sur la notion de *stratégie optimale*. Il nous a semblé préférable de concevoir un ensemble d'outils informatiques, plutôt qu'un seul logiciel, afin de laisser le plus de latitude possible à l'usager.

Dans le second chapitre, nous présenterons le cadre théorique dans lequel s'inscrit notre travail, en nous intéressant plus particulièrement à ses deux composantes principales: les modèles désagrégés de choix et le calcul de routes optimales sur un réseau de transport.

Le troisième chapitre sera consacré à la conception d'un ensemble d'outils informatiques pour faciliter l'utilisation de modèles désagrégés de choix dans le contexte du transport urbain. Nous esquisserons une procédure qui permet le calcul des attributs des options offertes à des voyageurs sur un réseau multimodal. Nous décrirons ensuite l'ensemble des outils proposés pour automatiser cette procédure.

L'implantation de DISA (c'est ainsi qu'a été nommé l'ensemble d'outils proposé) fera l'objet du quatrième chapitre. Nous y décrirons brièvement EMME/2, un logiciel de planification de transport urbain, qui a eu une grande influence sur le développement de DISA.

Finalement, au chapitre cinq, nous présenterons un exemple d'utilisation de DISA. Pour cet exemple, des données nous ont été fournies par les premiers utilisateurs de DISA, à Stockholm (Suède).

2. SITUATION DU PROBLEME

Au cours de ce chapitre, nous présenterons les deux éléments de base qui constituent le cadre théorique dans lequel s'inscrit ce travail. La première section de ce chapitre sera consacrée aux modèles désagrégés de choix. La présentation de ces modèles sera suivie d'une description des méthodes les plus répandues pour les utiliser. La deuxième section traitera du calcul de routes optimales. Après une brève description de ce problème et des méthodes de résolution disponibles, nous nous intéresserons plus particulièrement au modèle de Spiess.

2.1 Les modèles désagrégés de choix

Tout d'abord, définissons quelques termes qui constituent le vocabulaire de base des modèles désagrégés de choix.

L'*ensemble de choix* (en anglais "choice set") est la liste de toutes les possibilités offertes à un individu. Chacun des éléments de cet ensemble est une *option* (en anglais "alternative"). Soient n un individu et C_n son ensemble de choix. On dénote par $c \in C_n$ l'option c appartenant à l'ensemble de choix de l'individu n. Le problème auquel l'individu est confronté est de choisir une et une seule des options $c \in C_n$. Soulignons que des individus différents peuvent avoir des ensembles de choix différents. Par exemple, dans le contexte du choix de mode de transport, l'option "voiture privée" n'appartient pas à l'ensemble de choix des individus qui n'ont pas accès à une automobile.

Un individu est caractérisé par des *attributs*, $a_{n1}, a_{n2}, \ldots$ Par exemple, l'âge, le sexe, le revenu, et l'accès à une automobile sont des attributs d'un individu. On les appelle aussi "caractéristiques socio-économiques".

Une option est également caractérisée par des *attributs*, $a_{c1}, a_{c2}, \ldots$ Dans le contexte d'un choix de mode de transport en commun, les attributs d'une option sont, par exemple, le tarif, le temps d'attente, le temps passé à bord d'un véhicule, ou temps-en-véhicule ("in-vehicle time" en anglais), et le nombre de correspondances.

Une *option individuelle* est la combinaison d'une option et des caractéristiques d'un individu. Autrement dit, une option individuelle est la forme que prend une option pour un individu. Par exemple, dans le contexte d'un choix de mode de transport, l'option individuelle qui correspond à l'option "auto" et à l'individu ayant pour origine A et pour destination B est: se rendre en auto de A à B.

L'individu prend ses décisions en fonction de ses propres attributs, et aussi en fonction de ses options individuelles. Après avoir classé ces options par ordre de préférence, il choisit celle qu'il considère la plus attrayante.

Pour modéliser le mécanisme de prise de décision de l'individu, il faut faire l'hypothèse qu'il a un *comportement rationnel*. On suppose alors que l'individu examine, explicitement ou non, chacune de ses options individuelles et en détermine l' *utilité* (en anglais "utility"). Cette mesure de l'intérêt que l'individu porte à une option est une fonction des attri-

buts de l'individu et de ceux de l'option. L'utilité de l'option c pour

$$U_{cn} = \sum_k \beta_k x_{cnk} \qquad (1)$$

Les variables x_{cnk} représentent les attributs de l'option c pour l'individu n. Cette formulation de l'utilité, bien que linéaire, permet de considérer des fonctions non-linéaires des attributs. Par exemple, il n'est pas rare de définir une variable comme $x_{cnk}=\log(tarif_{cn})$.

De manière générale, la calibration d'un modèle consiste à ajuster les paramètres de celui-ci en utilisant une mesure de concordance rigoureusement définie, de façon à ce que les résultats prédits par le modèle soient assez proches de ce qui a été observé. L'analyste, ayant alors confiance en son modèle, peut s'en servir pour faire de la prévision. Dans le cas des modèles désagrégés de choix, l'analyste doit d'abord spécifier les options qu'il veut considérer, ainsi que les variables qui apparaissent dans les fonctions d'utilité. La calibration du modèle consiste alors à déterminer les coefficients β_k associés à ces variables. La méthode la plus fréquemment utilisée pour estimer les coefficients β_k, voir par exemple Lerman (1984), est celle du *maximum de vraisemblance*. Seules les variables dont le coefficient est significativement non-nul sont retenues.

Différents individus confrontés à un même choix ne perçoivent pas nécessairement de la même façon les options qui leur sont offertes. Les modèles désagrégés de choix sont basés sur cette notion de variation de perception. Au lieu de prévoir la décision qu'un individu prendra, les modèles désagrégés prévoient la probabilité avec laquelle un individu n

choisit une option c, que l'on note $p_n(c)$. Le concept de probabilité de choix s'appuie sur une nouvelle définition de l'utilité. Considérée comme aléatoire, celle-ci est constituée d'une partie systématique, V_{cn}, explicable à l'aide des attributs de l'option et de l'individu, et d'une partie résiduelle, ε_{cn}, inexpliquée. Avec cette nouvelle définition, l'utilité s'écrit sous la forme:

$$U_{cn} = V_{cn} + \varepsilon_{cn} \qquad (2)$$

Théoriquement, le deuxième terme de l'utilité devrait être aléatoire mais, en pratique, il ne l'est pas toujours. En effet, ce terme d'erreur devient systématique lorsque, par exemple, une variable explicative a été omise.

La probabilité avec laquelle un individu choisit une option, $p_n(c)$, est exprimée en fonction de l'utilité de toutes les options de l'ensemble de choix:

$$p_n(c) = f_{cn}(V_{c'n}, \ \forall\, c' \varepsilon C_n) \qquad , c \varepsilon C_n, \ n \varepsilon N. \qquad (3)$$

Chaque modèle se distingue par la fonction qu'il utilise pour le calcul de $p_n(c)$. La fonction spécifique proposée par un modèle dépend des hypothèses qui sont faites sur la distribution du terme aléatoire de l'utilité.

Certains modèles se limitent à l'analyse de choix binaires. D'après Lerman (1984), les modèles "probabilité linéaire", "probit binaire" et "logit binaire" sont les plus répandus de cette catégorie. Toujours selon Lerman, parmi les modèles qui considèrent deux options ou plus, le modèle "logit multinomial" est de loin le plus utilisé. Sa formulation est la suivante:

$$p_n(c) = \frac{e^{V_{cn}}}{\sum_{c' \varepsilon C_n} e^{V_{c'n}}} \qquad , c \varepsilon C_n. \qquad (4)$$

La popularité de ce modèle est due à plusieurs facteurs: son estimation relativement facile, sa simplicité de calcul pour la prédiction, et la facilité avec laquelle de nouvelles options peuvent être introduites.

D'autres modèles sont disponibles pour l'analyse de choix comportant deux options ou plus. Cependant, leur formulation plus générale rend leur usage plus compliqué. Dans cette catégorie, les plus connus sont les modèles "nested logit" (McFadden, 1978), "generalized extreme value" (McFadden, 1978), "multinomial probit" (Daganzo, 1979) et le modèle "dogit" (Gaudry et Dagenais, 1979).

En terminant cette présentation des modèles désagrégés, une remarque importante s'impose. Dans tous les modèles de ce type, la probabilité $p_n(c)$ est exprimée en fonction de l'utilité de *toutes les options* $c' \in C_n$. Lors de la calibration et de l'utilisation de ces modèles, il est donc nécessaire d' *énumérer tous les éléments des ensembles de choix de tous les individus considérés, et d'en évaluer les attributs.*

Pour des modèles non reliés au transport, il est assez facile d'énumérer les options qui font partie de l'ensemble de choix de chaque individu. Par contre, cette tâche peut devenir très complexe lorsque l'on considère des modèles de choix relatifs au transport (choix de mode, de destination, etc). Dans un contexte de transport, chaque option représente une façon particulière dont l'individu, que nous appellerons aussi *voyageur*, utilise le réseau. En pratique, il n'est pas souhaitable d'énumérer explicitement tous les éléments de l'ensemble de choix, puisque, même dans le cas le plus simple, cela impliquerait l'énumération de tous les chemins possibles entre deux points du réseau. Il est donc essentiel de trouver

des moyens de réduire la taille de l'ensemble de choix, en ne considérant qu'un petit sous-ensemble de toutes les options possibles, celles qui ont le plus de chances de couvrir le véritable comportement de la plupart des voyageurs.

Afin de réduire la taille de l'ensemble de choix, nous supposons d'abord que le voyageur est doué d'une certaine rationalité et qu'il choisit toujours la route qui minimise le coût qu'il perçoit. Cette hypothèse nous permet de ne considérer que les éléments de l'ensemble de choix qui correspondent à une route optimale selon une fonction de coût perçu qui nous est inconnue. L'ensemble de ces fonctions étant pratiquement infini, nous le réduisons à un petit sous-ensemble de fonctions de coût qui correspondent à des patrons de comportement raisonnables et bien définis. Il s'agit en fait d'utiliser notre connaissance a priori du comportement usuel des voyageurs afin de ne considérer qu'un nombre restreint d'options raisonnables pour un réseau donné.

Lors de la préparation des données, il est utile de vérifier que le jeu d'options retenu est adéquat. Pour ce faire, il est souhaitable, mais pas nécessaire, que les deux conditions suivantes soient satisfaites:

- L'option observée chez chaque voyageur devrait correspondre à une des options retenues. Si tel n'est pas le cas, il faut utiliser l'information associée à cette observation pour déterminer l'option ou les options supplémentaire(s) à considérer.

- Chacune des options retenues devrait correspondre à l'option observée chez au moins un voyageur. Il n'est pas nécessaire de considérer les

options pour lesquelles ce n'est pas le cas, puisqu'elles n'influencent la décision d'aucun des voyageurs faisant partie de l'échantillon considéré. Par contre, ces options seraient peut-être choisies par d'autres individus.

Une fois les options à considérer retenues, on veut en évaluer les attributs. Il s'agit généralement du tarif, du temps-en-véhicule et, pour ce qui a trait au transport en commun, du temps d'attente, du temps de marche, du nombre de correspondances ou du temps qui y est associé, ainsi que du temps total du voyage. Afin de pouvoir évaluer les attributs d'une option pour un voyageur, il est nécessaire de déterminer la route "optimale" qui correspond à cette option.

Pour cette étape, les utilisateurs de modèles désagrégés ont le plus souvent recours à des *procédures manuelles*. McFadden (voir Domencich et McFadden, 1975) décrit une étude effectuée pour la ville de Pittsburgh, il y a une quinzaine d'années. Il s'agissait de calibrer un modèle de choix modal (auto/autobus). Les attributs des options, temps et coûts, ont été estimés en utilisant des cartes détaillées de la ville ainsi que des données disponibles sur le temps requis pour parcourir certains liens du réseau. Le temps de parcours des liens pour lesquels aucune observation n'était disponible était déterminé manuellement en se basant sur le type de rue, les conditions topographiques et la connaissance générale de la région concernée.

Une fois l'origine et la destination d'un individu repérées sur la carte, le chercheur faisait appel à son bon jugement afin de déterminer la route optimale correspondant à chacune des options de l'ensemble de choix

de chaque individu considéré. Pour l'option "auto", le chercheur devait déterminer le chemin le plus court entre les deux points, tout en donnant priorité aux autoroutes et aux grandes artères. Pour l'option "autobus", il devait déterminer un "chemin logique à temps minimal". De plus, pour l'option choisie, des informations recueillies auprès de l'individu (ponts traversés, lignes d'autobus utilisées, etc.) pouvaient être utilisées.

La méthode décrite par McFadden semble désuète, surtout lorsque l'on pense à l'invasion de l'informatique dans le domaine des transports. En effet, grâce à la baisse considérable des prix du matériel informatique au cours des dernières années, la plupart des organismes de planification ont pu se doter d'ordinateurs, d'équipement graphique (terminaux, digitaliseurs,...), etc. Ces organismes ont ainsi pu codifier les réseaux (tant routier que de transport en commun) auxquels ils s'intéressent et emmagasiner, dans des fichiers ou des banques de données, toute l'information disponible sur ces réseaux. Quant à la détermination de la route optimale correspondant à chaque option, l'utilisation d'outils informatiques la rendrait certainement plus efficace et plus objective.

Depuis les quinze dernières années, plusieurs logiciels de planification du transport urbain ont été développés. A la base de ces logiciels se trouvent des modèles analytiques de prévision, appelés plus couramment *modèles d'affectation.* Il s'agit de modèles agrégés dont le but est de prédire comment les voyageurs utilisent un réseau de transport. Pour ce faire, les modèles d'affectation calculent une route optimale suivant certains critères, puis ils affectent la demande sur la route calculée. Certains de ces modèles s'intéressent au transport routier, par exemple TRAFFIC (Nguyen et James, 1975), DAVIS (Triboult, 1979), ICAM

(Riepl et Gehner, 1978) et SATURN (Hall et al., 1980). D'autres, comme par exemple TRANSCOM (Chapleau, 1974), IGTDS (Rapp, 1972), NOPTS (Rapp et al., 1976), et VIPS (Andreasson, 1976) s'intéressent au transport en commun. D'autres, enfin, traitent des réseaux multimodaux: UTPS (UMTA/FHWA, 1977) et EMME/2 (Babin et al., 1982).

Pourtant, il existe peu d'outils informatiques applicables à l'utilisation de modèles désagrégés de choix. Certains organismes de planification ont développé des outils mais ils ne sont utilisés que de façon interne. Par exemple, au "Metropolitan Service District", de Portland (*), des planificateurs ont développé des programmes pour évaluer les attributs d'une option pour des individus dont on connaît les coordonnées d'origine et de destination. Le "Metropolitan Service District" utilise le logiciel EMME/2. A l'aide de ce dernier, les planificateurs ont accès, entre autres, aux impédances de centroïde à centroïde. (L'impédance est la somme pondérée du temps-en-véhicule et des temps de marche, d'attente et d'embarquement.) Les *centroïdes* sont des noeuds fictifs qui représentent des zones. Afin d'utiliser les impédances disponibles, il faut déterminer, à partir des coordonnées d'origine et de destination d'un individu, les points où il accède au réseau. Le réseau utilisé à Portland étant très agrégé dans la banlieue (entre deux noeuds, une ligne de transport en commun peut faire plusieurs arrêts), il est supposé que le voyageur accède non pas au noeud, mais plutôt au lien le plus proche. Le programme détermine donc le point d'un lien où le voyageur accède au réseau, au début et à la fin de son voyage, puis calcule l'impédance de ce voyage en se basant sur l'impédance zone à zone, le temps d'accès compris dans cette impédance, et

(*) Communication personnelle de M. Keith Lawton, du "Metropolitan Service District" de Portland, Oregon, en mai 1986.

le temps de marche nécessaire pour accéder au réseau. Remarquons que cette procédure suppose que les impédances zone à zone ont déja été calculées.

Un des principaux problèmes rencontrés lors de l'évaluation des attributs des options offertes à des voyageurs sur un réseau multimodal est donc la détermination de la route qui correspond à chaque option individuelle. Or un voyageur choisit toujours une route qui lui semble optimale, suivant ses propres critères. C'est ce qui nous amène à traiter du calcul de routes optimales, qui fera l'objet de la prochaine section de ce chapitre.

2.2 Le calcul de routes optimales

Ce problème consiste à déterminer une route optimale selon certains critères, entre l'origine et la destination du voyageur, sur un réseau de transport donné. Différents critères d'optimalité donnent lieu à différentes définitions de route optimale, et donc à différents algorithmes de calcul.

Dans le cas de l'option "auto", on s'accorde généralement pour considérer comme route optimale le *chemin le plus court* entre l'origine et la destination. Afin de tenir compte de la congestion sur le réseau, on calcule ce chemin en utilisant le temps de parcours de préférence à la longueur des liens. Dans certains cas, les temps de parcours proviennent d'observations sur le réseau. Dans d'autres cas, ils sont obtenus par l'application d'autres modèles, par exemple des modèles d'affectation routière. Il existe plusieurs algorithmes efficaces pour le calcul de plus courts chemins.

Le calcul de la route optimale est rendu plus complexe, dans le cas du transport en commun, par le phénomène de l'attente de l'arrivée d'un véhicule. Au cours des quinze dernières années, plusieurs auteurs ont étudié ce problème, l'abordant pour la plupart non pas spécifiquement, mais plutôt comme un élément du problème de l' *affectation du transport en commun*. Certains algorithmes affectent tous les voyages soit sur les chemins les plus courts (Fearnside et Draper, 1971), soit sur tous les chemins efficaces (Rapp et al., 1976), suivant l'approche "multi-chemin" proposée par Dial (1971) dans le contexte du transport privé, et considèrent le temps d'attente des lignes prises individuellement. D'autres méthodes (LeClercq, 1972; Chriqui et Robillard, 1975), également basées sur l'idée d'affecter les voyages sur les chemins les plus courts, définissent un chemin non pas comme une suite de segments de lignes consécutifs, mais comme une suite de noeuds de correspondance. Entre deux noeuds de correspondance, le voyageur peut choisir parmi plusieurs lignes différentes, à condition qu'elles offrent un service direct entre ces deux noeuds.

Une caractéristique commune à plusieurs de ces méthodes est leur approche heuristique. En effet, chacune de ces méthodes est basée sur un principe de comportement du voyageur, mais de façon implicite. Or, ce principe n'est pas présenté assez précisément pour donner lieu à la formulation d'un modèle mathématique qui mène ensuite à un algorithme de résolution. Spiess (1984) a été le premier à proposer un véritable modèle pour le problème du choix de la route optimale dans un réseau de transport en commun. Cette approche convient particulièrement à la présente étude, qui est consacrée précisément au comportement des voyageurs. C'est pourquoi cette approche sera décrite de façon plus détaillée dans la suite de cette section.

L'hypothèse à la base du modèle de Spiess est que le voyageur tente de minimiser l'espérance de la durée totale (ou du coût généralisé total) de son déplacement. Celle-ci est constituée de la somme, éventuellement pondérée, du temps-en-véhicule, du temps d'attente et du temps de marche. Traditionnellement, on assimilait l'ensemble des possibilités offertes au voyageur à l'ensemble des chemins qui existaient entre son origine et sa destination. Or, Spiess a postulé qu'un voyageur peut retenir un ensemble de chemins et utiliser l'information qui lui parvient durant son voyage pour décider lequel de ces chemins il empruntera effectivement. En agissant ainsi, le voyageur peut diminuer son temps d'attente, puisqu'il s'agit d'un phénomène non-additif. En effet, en attendant l'arrivée d'un véhicule de la ligne 1 ou de la ligne 2, le voyageur ne ressent pas la somme des deux temps d'attente, mais bien un temps d'attente inférieur à celui de chaque ligne prise individuellement.

Nous appellerons *stratégie* chaque élément de l'ensemble de choix du voyageur. Remarquons qu'il s'agit ici de l'ensemble de choix associé au choix de route correspondant à chacune des options examinées dans le cadre d'un choix de mode ou de destination. Une stratégie peut aussi être définie comme un ensemble de règles dont l'application permet au voyageur d'atteindre sa destination. Ces règles sont basées sur l'information qui parvient à l'individu durant son voyage. De toutes les informations que le voyageur peut acquérir au cours de son voyage (en regardant à travers les fenêtres du véhicule dans lequel il se trouve, en marchant ou en attendant à un arrêt), une seule est comprise dans ce nouveau modèle. On suppose que, à chaque arrêt où il attend, le voyageur sait à quelle ligne appartient le prochain véhicule qui arrive à cet arrêt. Cela lui permet de décider s'il monte à bord de ce véhicule ou s'il attend le prochain.

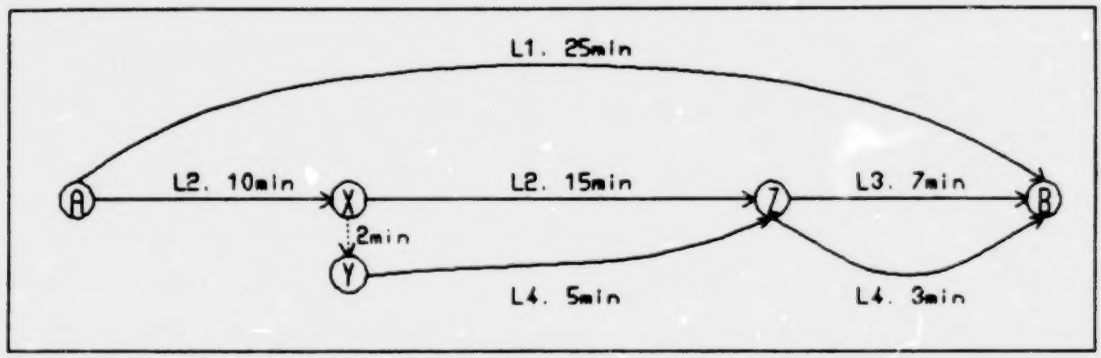

FIGURE 2-1: Exemple d'un réseau de transport en commun

La figure 2-1 représente un petit réseau de transport en commun, comportant 4 lignes et un lien piétonnier. Les intervalles (en anglais "headways") des lignes sont donnés par le tableau 2-1.

ligne	intervalle
L1	18 min
L2	6 min
L3	3 min
L4	8 min

TABLEAU 2-1: Intervalles des lignes

Voici maintenant un exemple de stratégie suivant les règles énoncées plus haut, pour le réseau illustré à la figure 2-1:

> "Prendre le prochain véhicule de la ligne 1 ou de la ligne 2; si je prends la ligne 1, descendre au noeud B; si je prends la ligne 2, correspondre au noeud Z avec un véhicule de la ligne 3 ou de la ligne 4 et descendre au noeud B."

Sur un réseau routier, il est possible de calculer les chemins les plus courts d'une origine vers toutes les destinations aussi bien que de toutes les origines vers une destination. Sur un réseau de transport en commun, cette symétrie n'existe plus, à cause de l'attente qui a lieu *avant* de monter à bord d'un véhicule, et qui est un phénomène non-additif. A cause de cette asymétrie, nous définirons une stratégie comme un ensemble de règles qui permettent au voyageur d'atteindre sa destination, quelque soit son point de départ sur le réseau.

La définition d'une telle stratégie consiste à déterminer, pour chaque noeud du réseau, exception faite de la destination, un ensemble de *lignes attrayantes* et, pour chacune de celles-ci, le noeud où descendre. On appelle *segments actifs* les segments de ligne (*) entre le noeud où le voyageur monte à bord du véhicule et le noeud où il descend. Si le réseau considéré comporte des liens piétonniers, l'ensemble des lignes attrayantes à un noeud donné peut être remplacé par un (seul) de ces liens. Une stratégie sera réalisable, s'il existe au moins un chemin de chaque noeud vers la destination, et si le graphe défini par les segments actifs des lignes attrayantes ne contient aucun cycle. Pour une stratégie donnée, un voyage se déroule suivant un mécanisme qui peut s'exprimer comme suit:

ETAPE 0: Soit NOEUD le noeud origine.

ETAPE 1: Monter à bord du véhicule appartenant à une des lignes attrayantes à NOEUD qui arrive le premier, et descendre de ce véhicule au noeud prédéterminé.

(*) L'itinéraire des lignes de transport en commun est défini comme une suite d'arrêts. Entre deux arrêts se trouve le segment de ligne, qui correspond à un lien du réseau.

ou

Quitter NOEUD par un lien piétonnier et marcher jusqu'au noeud prédéterminé.

ETAPE 2: Si on n'a pas encore atteint la destination, NOEUD devient le noeud courant et on retourne à l'étape 1. Autrement, le voyage est terminé.

Pour la présentation du problème d'affectation du transport en commun tel qu'il a été formulé mathématiquement par Spiess, nous allons considérer un réseau G=(I,A) où I est l'ensemble des noeuds et A l'ensemble des liens. Les liens que nous considérons ici peuvent être aussi bien des segments de ligne de transport en commun que des liens piétonniers. Chacun a un temps de déplacement et une fréquence. La fréquence d'un lien/segment de ligne est celle de la ligne à laquelle il appartient. Pour ce qui est des liens piétonniers, on considère que leur fréquence est infinie. En effet, comme ces liens n'impliquent aucune attente, ils peuvent être considérés comme une ligne de transport en commun reliant deux noeuds avec une fréquence infinie. Voici la notation que nous utiliserons pour présenter le modèle:

Indices et ensembles:

$i \in I$	noeuds du réseau
$a \in A$	liens du réseau
$a \in A_i^+$	liens sortant du noeud i
$a \in A_i^-$	liens entrant au noeud i
$a \in \bar{A} \subseteq A$	stratégie, représentée par le sous-ensemble des segments actifs des lignes attrayantes
$a \in \bar{A}_i^+$	liens de la stratégie $\bar{A}$ sortant du noeud i

constantes:

t_a temps de déplacement sur le lien a

f_a fréquence du lien a

g_i nombre de voyages du noeud i à la destination

variables:

v_a volume sur le lien a

v_i volume au noeud i

Dans un premier temps, Spiess (1984) exprime le problème comme un programme linéaire dont la dimension croît exponentiellement avec la taille du réseau. Il démontre ensuite que dans le cas particulier où le temps d'attente ne dépend que de la fréquence combinée des lignes considérées, il est possible de reformuler le problème comme un programme linéaire beaucoup plus simple, qui ne croît que linéairement avec la taille du réseau. En combinant les fréquences des lignes attrayantes à un noeud, le voyageur peut réduire son temps d'attente. Le *temps d'attente combinée* à un noeud pour une stratégie $\bar{A}$ et la probabilité avec laquelle un lien a sera utilisé dans cette stratégie sont donnés par:

$$W(\vec{A_i}) = \frac{\alpha_i}{\sum_{a \in \vec{A_i}} f_a} \quad , \alpha_i > 0, \tag{5}$$

$$P_a(\vec{A_i}) = \frac{f_a}{\sum_{a' \in \vec{A_i}} f_{a'}} \quad , a \in \vec{A_i}. \tag{6}$$

Le paramètre α_i est le *facteur de temps d'attente.* Différentes valeurs de ce paramètre correspondent à différentes distributions de l'intervalle

entre deux véhicules consécutifs. Une valeur de $\alpha_i=1$ correspond au cas où ces intervalles sont distribués selon une loi exponentielle avec moyenne $1/f_a$. Le cas $\alpha_i=0,5$ est une approximation d'un horaire à intervalles fixes de $1/f_a$ pour chaque lien a. C'est cette mesure du temps d'attente qui est la plus utilisée en pratique.

Nous pouvons maintenant introduire de nouvelles variables, w_i, qui représentent le temps d'attente total de tous les voyages qui utilisent le noeud i:

$$w_i = \frac{v_i}{\sum_{a\in A_i^+} f_a} \quad , \ i\in I. \tag{7}$$

La formulation du problème d'affectation du transport en commun que nous présentons ici est celle à laquelle Spiess arrive après plusieurs transformations, pour le cas des fréquences combinées.

$$\text{Min} \sum_{a\in A} t_a v_a + \sum_{i\in I} w_i \tag{P1}$$

sujet à

$$v_a \leq f_a w_i \ , \qquad a\in A_i^+, i\in I, \tag{8}$$

$$\sum_{a\in A_i^+} v_a - \sum_{a\in A_i^-} v_a = g_i \ , \qquad i\in I, \tag{9}$$

$$v_a \geq 0 \ , \qquad a\in A. \tag{10}$$

Le problème P1 ressemble beaucoup à celui de l'affectation "tout-ou-rien" sur les chemins les plus courts. En fait, ce dernier est un cas

particulier du problème d'affectation du transport en commun, où il n'y aurait aucune attente. En effet, la fonction économique comporte, en plus du terme habituel correspondant au temps total de déplacement sur le réseau, un terme correspondant au temps d'attente total sur le réseau. Aux contraintes classiques de conservation (9) et de non-négativité du flot (10) vient s'ajouter une nouvelle contrainte (8) qui découle de la définition de $P_a(\vec{A}_i^+)$ (6).

L'algorithme de résolution proposé par Spiess n'est pas très différent d'un algorithme de calcul de plus courts chemins. Il est composé de deux parties. Dans une première passe à travers le réseau, on détermine les liens $a \in A$ qui constitueront la stratégie optimale $\vec{A}^*$ pour se rendre à la destination à partir de n'importe quel noeud origine, ainsi que les espérances des temps de voyage u_i^*, $i \in I$. La deuxième partie de l'algorithme consiste à charger les voyages de tous les noeuds origines à la destination, selon la stratégie optimale. Remarquons que lorsqu'on affecte un seul voyage sur le réseau, on peut considérer les volumes sur les liens comme la *probabilité que le voyageur emprunte ce lien.*

Dans la présentation de l'algorithme, il nous faudra établir une distinction entre les lignes de transport en commun et les liens appartenant à un mode auxiliaire. Ce dernier type de mode est utilisé pour tout déplacement par transport en commun qui n'emploie pas de ligne, mais s'effectue sur un lien. Il nous faut donc définir une nouvelle notation:

Indices et ensembles:

$i \in I$	noeuds du réseau routier
$a \in A$	liens des modes de transport en commun auxiliaire

$a \in A_i^+$ liens sortant du noeud i

$a \in A_i^-$ liens entrant au noeud i

$l \in L$ lignes de transport en commun

$s \in S_l$ arrêts de la ligne l, l'ensemble S_l étant ordonné

$s \in S^i$ arrêts au noeud i

constantes:

t_s temps de déplacement sur le segment suivant l'arrêt s

t_a temps de déplacement sur le lien a

p_i pénalité d'embarquement au noeud i

α_i facteur de temps d'attente au noeud i

f_l fréquence de la ligne l

g_i demande, c'est-à-dire le nombre de voyages du noeud i à la destination q

variables:

u_s impédance de l'arrêt s à la destination q (sans attente)

u_i impédance du noeud i à la destination q en quittant le noeud par une ligne de transport en commun

u_i' impédance du noeud i à la destination q en quittant le noeud par un lien de transport en commun auxiliaire

b_s élément successeur de l'arrêt s dans la stratégie optimale

b_i élément successeur du noeud i dans la stratégie optimale

f_i fréquence combinée au noeud i

$\bar{S}^i$ arrêts attrayants au noeud i

v_s volume sur le segment suivant l'arrêt s (cumulatif)

v_a volume sur le lien a

v_i volume temporaire au noeud i

Quelques remarques sur cette notation rendront plus claires la présentation de l'algorithme.

- L'algorithme traite deux types d' *éléments:* des *noeuds* et des *arrêts.* Une ligne de transport en commun l consiste en un ensemble ordonné d'arrêts, S_l. A chaque noeud i est associé l'ensemble des arrêts de toutes les lignes qui desservent ce noeud, S^i. L'arrêt $s \in S_l \cup S^i$ est donc celui de la ligne l qui a lieu au noeud i. Par exemple, au noeud Z du réseau illustré à la figure 2-1 ont lieu trois arrêts, puisque ce noeud est desservi par les lignes 2, 3 et 4.

- Dans une stratégie, l' *élément successeur* d'un arrêt, b_s, est soit l'arrêt suivant sur l'itinéraire de la ligne à laquelle il appartient, soit le noeud qui correspond à l'arrêt s. Dans le premier cas, le voyageur a intérêt à rester à bord du véhicule. Dans le second cas, il est plus avantageux pour lui de descendre à ce noeud.

- A un noeud correspond soit un ensemble d'arrêts attrayants, $\bar{S}^i$, soit un successeur, b_i, qui spécifie quel lien sera utilisé pour quitter le noeud.

A l'aide de la notation que nous venons de définir, nous pouvons maintenant présenter l'algorithme d'affectation des voyages de transport en commun, tel qu'il est implanté dans le logiciel EMME/2. Ce dernier sera décrit au chapitre 4.

PARTIE 1: Calcul des stratégies optimales

ETAPE 0: (Initialisation)

$u_s := \infty$, $v_s := 0$, $s \in S_l$, $l \in L$;

$u_i := \infty$, $u_i' := \infty$, $i \in I-\{q\}$, $u_q := 0$;

$f_i := 0$, $v_i := g_i$, $i \in I$;

$\tilde{I} := \{q\}$, $\tilde{S} := \emptyset$;

$\overline{S^i} := \emptyset$, $i \in I$.

ETAPE 1: (Sélection des éléments)

Tant que $\tilde{I} \cup \tilde{S} \neq \emptyset$ faire:

a) déterminer $j \in \tilde{I}$ tel que $\text{Min}(u_j, u_j') \leq \text{Min}(u_i, u_i')$, $i \in \tilde{I}$;

b) déterminer $s \in \tilde{S}$ tel que $u_s \leq u_{s'}$, $s' \in \tilde{S}$;

c) si $\tilde{S} = \emptyset$ ou $\text{Min}(u_j, u_j') < u_s$ alors effectuer ETAPE 2,

autrement effectuer ETAPE 3.

ETAPE 2: (Balayage du noeud j)

a) si $u_j' < u_j$ alors $u_j := u_j'$, $\overline{S^j} := \emptyset$;

b) pour chaque arrêt $s \in S^j$ faire:

si $u_s > u_j$ alors $u_s := u_j$, $b_s := j$, $\tilde{S} := \tilde{S} \cup \{s\}$;

c) pour chaque lien $a=(i,j) \in A_j^-$ faire:

si $u_i' > u_j$ alors $u_i' := u_j + t_a$, $b_i := j$, $\tilde{I} := \tilde{I} \cup \{i\}$;

d) $\tilde{I} := \tilde{I} - \{j\}$.

ETAPE 3: (Balayage de l'arrêt s)

Soient i et l tels que $s \in \bar{S}^i$ et $s \in S_l$, et soit s' l'arrêt précédent sur l'itinéraire de la ligne l, s'il existe.

a) Si s' existe et $u_{s'} > u_s + t_{s'}$, alors $u_{s'} := u_s + t_{s'}$, $b_{s'} := s$, $\tilde{S} := \tilde{S} \cup \{s'\}$;

b) si $u_i > u_s + p_i$ alors

$$\bar{S}^i := \bar{S}^i \cup \{s\},\ u_i := \frac{f_i u_i + f_l (u_s + p_i)}{f_i + f_l},\ f_i := f_i + f_l,\ \tilde{I} := \tilde{I} \cup \{i\}; \quad (*)$$

c) $\tilde{S} := \tilde{S} - \{s\}$.

PARTIE 2: Affectation des voyages au réseau

ETAPE 4: (Balayage du réseau en ordre topologique inversé des noeuds)

Pour tout $i \in I - \{q\}$, en ordre décroissant de u_i, faire:

si $\bar{S}^i = \emptyset$ alors effectuer ETAPE 5,

autrement effectuer ETAPE 6.

ETAPE 5: (Chargement d'un lien)

$j := b_i$, $a := (i, j)$, $v_a := v_a + v_i$, $v_j := v_j + v_i$.

ETAPE 6: (Chargement des segments de lignes)

Pour chaque arrêt $s \in \bar{S}^i$ faire:

a) $\nu := \frac{f_l}{f_i} \cdot v_i$, $v_s := v_s + \nu$, $e := s$;

b) répéter: $e := b_e$, $v_e := v_e + \nu$ jusqu'à $e \in I$.

(*) Lorsque l'on ajoute le premier arrêt attrayant à $\bar{S}^i$, on obtient $u_i = \infty$ et $f_i = 0$. On suit alors la convention $0 \cdot \infty = \alpha_i$.

La première partie de l'algorithme ressemble beaucoup à un algorithme de calcul des plus courts chemins à partir de toutes les origines vers une destination. L'étape 0 consiste à initialiser les étiquettes des arrêts et des noeuds (u_s, u_i, et u'_i), les ensembles contenant les éléments déjà rejoints ($\tilde{S}$ et $\tilde{I}$) ainsi que l'ensemble des arrêts attrayants à chaque noeud ($\bar{S}^i$, $i \in I$). L'élément le plus proche de la destination est sélectionné à l'étape 1, puis balayé à l'étape 2 s'il s'agit d'un noeud, ou à l'étape 3 s'il s'agit d'un arrêt. Le balayage d'un noeud j consiste à déterminer laquelle de ses deux étiquettes (u_j ou u'_j) est la meilleure, puis à voir s'il est possible d'améliorer les étiquettes des éléments qu'il permet de rejoindre, soit les arrêts $s \in S^j$ et les noeuds i tels que $a=(i,j) \in A_j^-$. Le balayage d'un arrêt s consiste à examiner les éléments qu'il permet de rejoindre, soit l'arrêt précédent sur la même ligne, et le noeud i auquel l'arrêt s a lieu, pour voir s'il est possible d'améliorer leurs étiquettes.

Dans la deuxième partie de l'algorithme, la demande est affectée sur les liens et sur les segments de ligne de transport en commun qui composent la stratégie qui vient d'être calculée. Pour ce faire, on parcourt les noeuds du réseau en ordre topologique inversé, c'est-à-dire en commençant par le noeud le plus éloigné de la destination, et, pour chacun, on charge soit un lien, soit tous les segments attrayants. Dans le dernier cas, le volume du noeud est réparti sur tous les segments attrayants suivant le rapport de leurs fréquences respectives sur la fréquence combinée du noeud.

La figure 2-2 illustre la stratégie optimale pour se rendre au noeud B, sur le réseau de la figure 2-1. Cette stratégie a été calculée en fixant le facteur de temps d'attente α_i à 0,5 pour tous les noeuds du réseau, et en ne considérant pas de pénalité d'embarquement. L'impédance pour

aller du sommet A au sommet B est de 26,5 minutes. Les volumes, v, qui apparaissent sur la figure 2-2 proviennent de l'affectation d'un voyage de A à B.

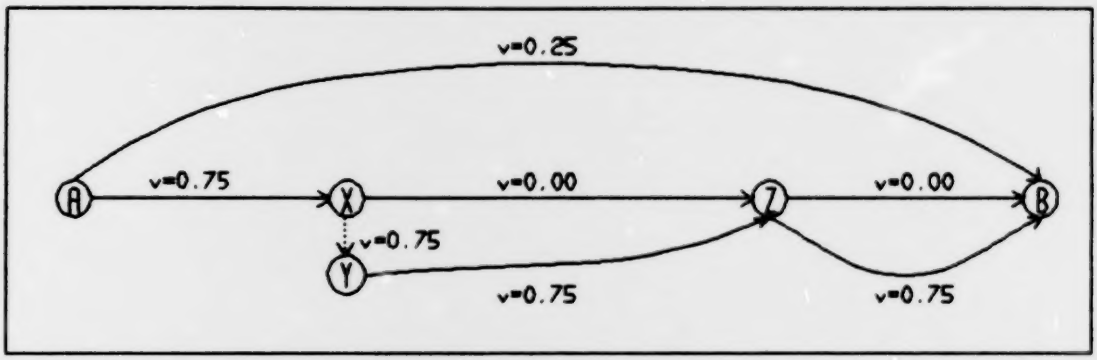

FIGURE 2-2: La stratégie optimale

Cette présentation de la *stratégie optimale* devrait suffire à comprendre la suite de ce travail. Les lecteurs que la justification théorique de l'algorithme intéresse sont invités à lire le chapitre II de la thèse de M. Heinz Spiess (1984).

3. APPROCHE CONCEPTUELLE

Dans ce chapitre, nous décrirons la conception d'un ensemble d'outils dont le but est de faciliter l'utilisation de modèles désagrégés de choix dans le contexte du transport urbain. Après avoir précisé quelques définitions proposées aux chapitre deux, nous esquisserons les grandes lignes d'une procédure de calcul des attributs des options offertes aux voyageurs sur un réseau multimodal. Finalement, nous décrirons les outils informatiques proposés pour automatiser cette procédure.

3.1 Concepts et terminologie

Plusieurs termes relatifs aux modèles désagrégés de choix ont déjà été définis à la section 2.1, mais dans un cadre assez général. Il faut maintenant préciser quelques-unes de ces définitions dans le contexte qui nous intéresse.

Un *individu*, ou *voyageur*, est spécifié par ses coordonnées d'origine et de destination, (x_1,y_1) et (x_2,y_2), et par une indication du réseau qu'il utilise. Cette indication servira à déterminer les conditions qui prévalent sur le réseau lorsque le voyageur l'utilise: temps de parcours des liens, ensemble de lignes disponibles, fréquence de ces lignes, etc. Une observation ainsi que des caractéristiques socio-économiques peuvent aussi être associées à un individu.

Une *option* correspond à une fonction de coût. La forme de fonction qui sera considérée est une somme pondérée des différentes composantes de

temps du voyage. Les composantes considérées ici sont:

- le temps-en-véhicule;
- le temps d'attente;
- le temps d'utilisation des modes auxiliaires; ces modes sont utilisés pour tout déplacement par transport en commun qui n'emploie pas de ligne, mais s'effectue sur un lien (marche, trottoir roulant, etc);
- le temps d'embarquement; en effet, une pénalité est associée à chaque montée à bord d'un véhicule.

Des poids différents peuvent être attribués au temps-en-véhicule de modes différents. Cela indique alors la préférence relative accordée à chaque mode. Si, pour une option donnée, l'emploi de certains modes seulement est permis, les poids associés aux autres modes dans la fonction de coût correspondant à cette option seraient infinis. On peut éviter de traiter des poids infinis, en spécifiant le sous-ensemble des modes permis.

Une *option individuelle* est la combinaison de la fonction de coût associée à une option, du réseau utilisé par le voyageur et de ses coordonnées d'origine et de destination.

L'approche proposée ici peut être utilisée dans plusieurs contextes différents. Par exemple, on peut l'employer dans un contexte de choix de mode, en spécifiant une option pour chaque combinaison de modes considérée. On peut aussi l'utiliser dans un contexte de choix de destination, en spécifiant un voyageur plusieurs fois avec des destinations différentes.

3.2 Une procédure pour le calcul des attributs d'options individuelles

La description des méthodes employées actuellement pour l'évaluation des attributs des options individuelles, effectuée à la section 2.1, permet de déterminer les grandes lignes que devrait suivre toute procédure.

1) Tout d'abord, il est nécessaire de déterminer les options que comporte le choix à analyser. Ces options sont spécifiées par un sous-ensemble de modes permis, par les poids associés au temps-en-véhicule de chacun de ces modes, ainsi que par les poids associés aux trois autres composantes de temps considérées ici.

2) Après avoir déterminé les points où le voyageur peut accéder au réseau, il faut calculer la stratégie optimale qui correspond à chaque option individuelle.

3) Finalement, il reste à évaluer les attributs de chaque option individuelle à partir de la stratégie optimale qui vient d'être calculée.

Pour le moment, il n'est pas nécessaire de donner plus de détails sur la première et la troisième étape. Cependant, la deuxième étape soulève certains problèmes, qui seront examinés ci-dessous.

Le premier problème auquel on se heurte est celui de l'accès. En effet, il y a une discontinuité entre l'origine et la destination des voyageurs, dont on connaît les coordonnées, et le réseau sur lequel ils chemineront, qui contient des noeuds, des liens, et des lignes de transport en commun qui circulent sur ces liens. Il s'agit donc de déterminer, pour chaque voyageur, un ensemble de points où il peut accéder au réseau à partir de son origine, ou *points d'accès*, et un ensemble de points où il peut

quitter le réseau pour se rendre à sa destination, ou *points d'issue* (*"egress" en anglais*). Le même problème se posant dans le cadre de l'utilisation de modèles agrégés de choix, examinons comment il est résolu dans ce contexte.

Les modèles agrégés de choix reliés au transport utilisent des réseaux où les origines et les destinations sont des *centroïdes*, c'est-à-dire des noeuds fictifs qui représentent des zones géographiques. La liaison entre les centroïdes et les autres noeuds du réseau se fait par des *connecteurs*, qui sont des liens fictifs. Le temps de parcours d'un connecteur reliant un centroïde à un noeud est une moyenne du temps requis pour atteindre ce noeud à partir de n'importe quel point de la zone représentée par le centroïde.

Cela nous suggère d'associer, à chaque paire de coordonnées, l'ensemble des noeuds du réseau qui en sont le plus rapprochés. Le temps de parcours entre les coordonnées d'origine et chacun des noeuds d'accès, de même que celui entre chacun des noeuds d'issue et la destination, pourrait être calculé en utilisant la distance euclidienne entre les points, et une *vitesse d'accès/issue* constante.

Il serait intéressant de tenir compte des barrières géographiques (rivières, clôtures, voies ferrées, etc) qui peuvent empêcher un voyageur d'atteindre un noeud. Malheureusement, il est difficile de traiter ces barrières dans une procédure automatique car, bien qu'elles apparaissent sur des cartes géographiques, elles ne sont généralement pas codées dans le réseau. Nous envisageons donc un programme qui prendrait en entrée des coordonnées d'origine et de destination ainsi que les noeuds du réseau et

produirait en sortie un ensemble de noeuds d'accès I_a et un ensemble de noeuds d'issue I_e. Les cas d'exception pourraient être traités en modifiant manuellement les ensembles proposés par le programme.

Une autre solution consisterait à supposer que les voyageurs peuvent accéder au réseau en n'importe quel point d'un lien et pas nécessairement à un noeud. Cette approche est intéressante surtout dans les cas où le réseau utilisé est très agrégé, c'est-à-dire où un grand nombre d'intersections et d'arrêts de lignes de transport en commun ne sont pas codifiés. Cependant, il est difficile de dissocier le traitement de ce genre d'accès du calcul de la route optimale. C'est pourquoi nous préférons la première solution qui permet, dans une étape intermédiaire, de modifier les ensembles de points d'accès et d'issue manuellement, de façon à tenir compte des cas d'exception.

Pour calculer la stratégie optimale entre l'origine et la destination d'un voyageur, nous disposons maintenant, en plus de ses coordonnées (x_1,y_1) et (x_2,y_2) et du réseau à utiliser, des ensembles de noeuds d'accès et de noeuds d'issue, I_a et I_e. L'algorithme de Spiess, exposé à la section 2.2, sera utilisé. Il permet de calculer la stratégie optimale de plusieurs noeuds origines vers un seul noeud destination. Cependant, ici existent plusieurs noeuds d'accès et d'issue.

Il est facile de modifier l'algorithme pour tenir compte de plus d'un noeud d'issue. Il suffit de changer l'initialisation des étiquettes des noeuds, à l'étape 0 de l'algorithme. Chacun des noeuds d'issue reçoit une étiquette u_i qui correspond au temps requis pour se rendre de ce noeud jusqu'à la destination, c'est-à-dire:

$$u_i = \frac{((x_2-x_i)^2+(y_2-y_i)^2)^{1/2}}{s} \quad , \; i \in I_e, \tag{11}$$

où (x_i, y_i) sont les coordonnées du noeud i et s la vitesse d'accès/issue.

En appliquant l'algorithme ainsi modifié, chacun des noeuds d'accès $i \in I_a$ reçoit une étiquette qui équivaut au temps de déplacement de ce noeud jusqu'à la destination. L'impédance de l'origine à la destination, qui correspond à l'utilisation d'un noeud d'accès donné, est calculée en ajoutant à son étiquette le temps de déplacement de l'origine jusqu'à ce noeud:

$$u_i'' = u_i + \frac{((x_1-x_i)^2+(y_1-y_i)^2)^{1/2}}{s} \quad , \; i \in I_a. \tag{12}$$

Pour l'option que le voyageur a choisie, il serait souhaitable que la route observée fasse partie de la stratégie calculée. Or le voyageur, qui ne peut pas percevoir exactement les coûts de déplacement, ne choisira pas nécessairement le noeud d'accès qui minimise son coût de déplacement total. C'est pourquoi il serait bon d'effectuer une *dispersion* entre les noeuds d'accès. Pour cela, il est nécessaire de déterminer la probabilité p_i avec laquelle chacun des noeuds d'accès est utilisé. L'impédance de l'origine à la destination, u, est alors donnée par:

$$u = \sum_{i \in I_a} p_i u_i'' \; . \tag{13}$$

L'algorithme de Spiess nous suggère une première méthode pour le calcul des probabilités p_i. Il s'agit d'associer, à chacun des noeuds d'accès, une *fréquence fictive*, f_i'. L'algorithme peut ainsi traiter l'origine tout comme un noeud desservi par des lignes de transport en commun,

c'est-à-dire en combinant les fréquences des noeuds d'accès attrayants. La probabilité avec laquelle un noeud d'accès est utilisé, s'il est attrayant,

$$p_i = \frac{f'_i}{\sum_{i' \in \bar{I}_a} f'_{i'}} \quad , \; i \in \bar{I}_a \tag{14}$$

Pour déterminer les fréquences fictives associées aux noeuds d'accès, une bonne connaissance du réseau et du comportement des voyageurs est nécessaire.

Dans la solution que nous avons retenue, la probabilité qu'un noeud d'accès soit utilisé est calculée à l'aide d'une fonction logit, qui combine les impédances u''_i associées à chacun des noeuds d'accès:

$$p_i = \frac{e^{-\Phi u''_i}}{\sum_{j \in I_a} e^{-\Phi u''_j}} \quad , \; i \in I_a. \tag{15}$$

Il est important de remarquer que nous nous écartons ici de l'interprétation probabiliste de la fonction logit. Nous ne l'utilisons pas pour modéliser un choix entre plusieurs stratégies mais pour déterminer les sommets d'accès qui seront utilisés.

La fonction logit associe à chaque noeud d'accès la probabilité qu'il soit utilisé, même si celle-ci est très faible. Pour contrer ce phénomène, nous introduirons un *paramètre de coupure*, ε, qui déterminera la plus petite probabilité à accorder à un noeud. La probabilité de chacun des noeuds d'accès pour lesquels $p_i < \varepsilon$ sera redistribuée entre les autres

noeuds d'accès pour lesquels $p_i \geq \varepsilon$. Soit $I_a' \subseteq I_a$ le sous-ensemble des noeuds d'accès pour lesquels $p_i < \varepsilon$. La répartition de la probabilité associée à chaque noeud d'accès $i \in I_a'$, sur les autres noeuds d'accès $j \notin I_a'$, s'effectue ainsi:

$$p_j = p_j + p_i \cdot \frac{p_j}{\sum_{j \notin I_a'} p_j} \quad , \forall j \notin I_a' . \tag{16}$$

La deuxième étape de la procédure proposée se résume donc comme suit:

- sélectionner un ensemble de noeuds d'accès I_a et un ensemble de noeuds d'issue I_e à partir des coordonnées (x_1, y_1) et (x_2, y_2) d'un voyageur;
- calculer la stratégie optimale pour atteindre la destination (x_2, y_2) en utilisant les ensembles de noeuds I_a et I_e;
- calculer la probabilité p_i que chaque noeud d'accès $i \in I_a$ soit utilisé.

L'étape la plus coûteuse de cette procédure est sans nul doute le calcul de la stratégie optimale. Il y a donc intérêt à effectuer cette étape de la façon la plus judicieuse possible. Un examen du travail à faire permettra de voir comment ordonner les voyageurs à traiter, s'il y a lieu, pour rendre la procédure plus efficace.

Avant de procéder au calcul même de la stratégie, il faut "construire" le réseau qui sera utilisé. L'option considérée détermine le sous-ensemble de modes "actifs" de ce réseau, ainsi que les poids associés aux diverses composantes de temps. Quant à la situation qui prévaut sur le réseau (temps de parcours des liens, ensemble de lignes disponibles, fréquence des lignes, etc), elle est déterminée par le voyageur considéré. Pour éviter

de reconstruire le réseau pour chaque option individuelle, il faudrait donc procéder ainsi:

```
pour chaque option c {
    pour tous les individus sujets à la même situation de réseau {
        construire le réseau qui correspond au sous-ensemble de modes
        permis et à la situation considérée;
        pondérer les temps avec les facteurs appropriés;
        pour chaque individu n tel que c∈C_n {
            calculer la stratégie optimale;
        }
    }
}
```

3.3 Description des outils proposés

L'esquisse d'une procédure pour le calcul des attributs d'options individuelles, nous a permis d'entrevoir les fonctions que des outils informatiques pourraient remplir. Le reste de cette section sera consacré à la description des outils proposés pour informatiser cette procédure.

Afin de rendre l'utilisation de ces outils aussi flexible que possible, nous avons opté pour une structure en *filtres*. Un *filtre* est un programme qui reçoit en entrée un jeu de données D, le traite et produit en sortie un jeu de données modifié D'. Ce nouveau jeu de données peut, à son tour, être fourni en entrée à un autre filtre. Les données que comprend D' sont:

- des données de D, modifiées;

- des données de D, inchangées;

- des données ajoutées par le filtre.

Dans le cas d'un filtre "réducteur", certaines données de D n'apparaîtront pas dans D'.

Un filtre peut également avoir accès à des *données auxiliaires*, qui servent à traiter les données filtrées D, mais n'apparaissent pas à la sortie. La figure 3-1 illustre le fonctionnement d'un filtre.

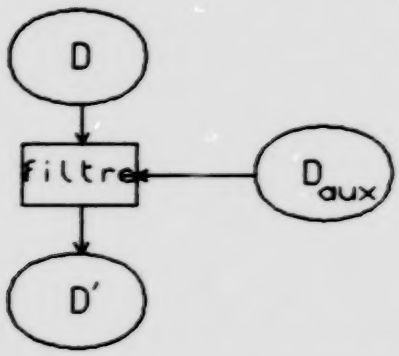

FIGURE 3-1: Fonctionnement d'un filtre

La souplesse de la structure proposée tient, entre autres, aux facteurs suivants:

- L'ordre dans lequel utiliser les filtres n'est pas strict et déterminé à l'avance. La seule condition qui doit être satisfaite afin qu'un filtre puisse être exécuté, est que toutes les données qu'il requiert soient disponibles.

- Différents filtres peuvent être disponibles pour remplir une même fonction. En remplaçant un filtre par un autre, il est possible d'utiliser l'ensemble des outils dans un contexte différent.

L'ensemble des filtres prévus est illustré à la figure 3-2. Comme dans la figure 3-1, les filtres sont représentés par des rectangles et les données par des ovales.

Nous décrirons maintenant chacun des filtres prévus, en indiquant sa fonction, les données qu'il filtre, de même que les données auxiliaires dont il a besoin. Remarquons que tous les filtres, à l'exception de "extres", filtrent les données associées aux voyageurs. De plus, sauf le filtre "sélecteur", ils ne font qu'ajouter d'autres données à celles qui leur sont fournies en entrée.

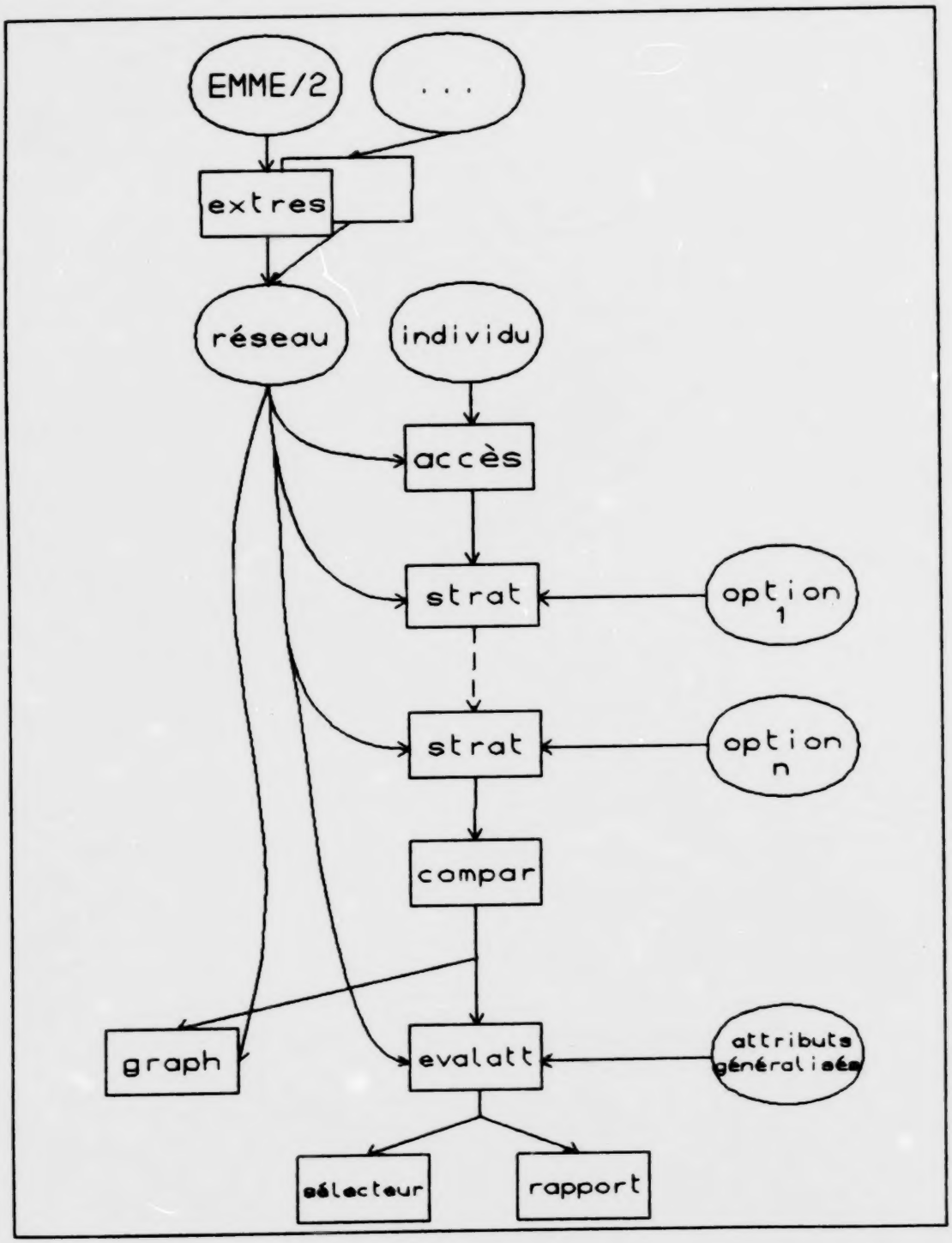

FIGURE 3-2: Ensemble des filtres prévus

EXTRES

Ce filtre a pour fonction d'extraire, d'une source de données externe, toute l'information relative au réseau de transport considéré. Plusieurs filtres interchangeables permettront d'utiliser différentes sources de données. Dans la première phase de développement, le réseau sera extrait d'une banque de données EMME/2.

Entrée: la banque de données ou le fichier d'où extraire le réseau.

Données auxiliaires: aucune.

Sortie: le réseau.

ACCES

La fonction de ce filtre est de déterminer les ensembles de noeuds d'accès et d'issue d'un individu, à partir de ses coordonnées d'origine et de destination. Les noeuds les plus proches de l'origine et de la destination sont sélectionnés mais l'usager pourra spécifier la distance maximum à considérer et le nombre maximum de noeuds à retenir.

Entrée: les données associées à un individu, qui doivent comporter au moins les coordonnées (x_1, y_1) et (x_2, y_2).

Données auxiliaires: le réseau.

Sortie: les données de l'individu fournies en entrée, auxquelles s'ajoutent les ensembles de noeuds d'accès et d'issue, I_a et I_e.

STRAT

Ce filtre calcule la stratégie optimale correspondant à une option individuelle, en utilisant l'algorithme de Spiess avec les modifications introduites à la section 3.2.

Entrée: les données associées à un individu, qui doivent comporter au moins les coordonnées (x_1,y_1) et (x_2,y_2) et les ensembles de noeuds d'accès et d'issue, I_a et I_e.

Données auxiliaires: le réseau et la définition de l'option considérée.

Sortie: les données de l'individu fournies en entrée, auxquelles s'ajoute une stratégie.

COMPAR

Ce filtre a pour but de vérifier si la stratégie observée pour un individu est compatible avec une option individuelle donnée, et de calculer avec quelle probabilité cette observation peut se produire.

Dans le cas le plus général, si l'individu a utilisé le transport en commun, une *observation* consistera en une suite ordonnée de sous-ensembles de lignes. Cependant, il est possible que certaines informations manquent, aussi bien sur l'utilisation d'autres lignes, que sur celle d'un mode auxiliaire pour effectuer une correspondance.

Pour comparer la stratégie observée avec une stratégie calculée, nous prévoyons extraire de cette dernière une stratégie "réduite" qui corresponde à l'observation. Le problème est de trouver le plus petit sous-ensemble de la stratégie calculée qui contienne l'observation.

Si l'individu a choisi de voyager en auto, l'observation aura la forme d'une suite ordonnée de sous-ensembles de liens. Il sera ainsi possible d'effectuer la comparaison entre la "stratégie" calculée et l'observation de la même façon que pour le transport en commun.

Entrée: les données associées à un individu, qui doivent comporter au moins une observation et une stratégie.

Données auxiliaires: aucune.

Sortie: les données de l'individu fournies en entrée, auxquelles s'ajoutent une stratégie "réduite" qui contient l'observation et la probabilité associée à l'observation.

GRAPH

La fonction de ce filtre est d'afficher une stratégie de façon graphique. Il est possible d'afficher une stratégie "réduite" qui résulte d'une comparaison avec l'observation, aussi bien qu'une stratégie calculée.

Entrée: les données associées à un individu, qui doivent comporter au moins une stratégie.

Données auxiliaires: le réseau.

Sortie: toutes les données fournies en entrée ressortent telles quelles et à l'écran (ou dans un fichier de dessins) est envoyée la représentation graphique de la stratégie.

EVALATT

Ce filtre évalue une fonction des attributs d'une stratégie. L'utilisateur spécifie cette fonction au moyen d'une expression algébrique. Les attributs considérés par ce filtre sont:

- le temps-en-véhicule, total et par mode;
- les autres composantes de temps: temps d'attente et d'embarquement, temps passé en mode de transport auxiliaire, total et par mode, temps d'accès et d'issue;
- la distance parcourue, totale et par mode.

Pour éviter toute confusion, nous allons rebaptiser ces attributs *attributs simples* et la fonction évaluée *attribut généralisé.* L'avantage de considérer une telle fonction est la possibilité de calculer un attribut simple à la fois, et aussi de calculer des attributs "généralisés". L'impédance, qui est la somme pondérée des composantes de temps d'un voyage, est un exemple d'attribut généralisé.

Entrée: les données associées à un individu, qui doivent comporter au moins une stratégie.

Données auxiliaires: le réseau, et la définition des attributs généralisés à évaluer.

Sortie: les données de l'individu fournies en entrée, auxquelles s'ajoute l'évaluation des attributs généralisés considérés.

RAPPORT

La fonction de ce filtre est de produire un rapport sur les stratégies calculées pour chaque option individuelle ou sur leurs attributs.

Entrée: les données associées à un individu, qui doivent comporter au moins une stratégie ou un attribut.

Données auxiliaires: aucune.

Sortie: toutes les données fournies en entrée ressortent telles quelles et à l'écran (ou dans un fichier de rapports) est envoyé un rapport.

SELECTEUR

La fonction de ce filtre est de déterminer, pour un individu, la ou les option(s) individuelle(s) dont un attribut généralisé (spécifié par l'usager) satisfait un critère de sélection donné. Différents filtres, qui correspondent à des critères de sélection différents, sont envisagés:

1) sélection des options individuelles pour lesquelles l'attribut généralisé considéré est dans l'intervalle déterminé par l'usager. Exemple: sélection des options individuelles pour lesquelles l'impédance est inférieure à une heure.

2) sélection de l'option individuelle pour laquelle l'attribut généralisé considéré est maximum (ou minimum). Exemple: sélection de l'option individuelle pour laquelle le nombre de correspondances est minimum.

Entrée: les données associées à un individu, qui doivent comporter au moins des stratégies et les attributs généralisés correspondants.

Données auxiliaires: aucune.

Sortie: les stratégies qui n'ont pas été sélectionnées n'apparaissent pas à la sortie, de même que leurs attributs généralisés. Les autres données fournies en entrée ressortent telles quelles.

4. IMPLANTATION

Au moment d'entreprendre la réalisation des outils proposés au chapitre précédent, nous avons évalué le travail requis pour développer un système complet qui soit le plus versatile possible. Ainsi, l'utilisation de nos outils ne serait pas limitée au seul calcul des attributs d'options individuelles dans le domaine du transport urbain. Le développement d'un tel système exige la conception d'une structure de données très flexible, ainsi que la réalisation des sous-routines de base pour manipuler cette structure. Il faut également concevoir et réaliser l'interface entre l'usager et le système. Tout ce travail s'ajoute à la réalisation des filtres. La somme de travail nécessaire pour obtenir un système opérationnel, qui traite tous les aspects de ce problème y compris les réseaux, est trop importante pour le temps disponible pour ce projet. C'est pourquoi nous avons cherché et trouvé une approche plus pragmatique.

Nous nous sommes alors tournés vers une solution qui nous éviterait de commencer à zéro le développement de nos outils. C'est ainsi qu'il fut décidé d'intégrer ces derniers au système EMME/2. L'expérience acquise au cours du développement de ce logiciel nous a permis de réaliser des gains considérables sur le temps d'implantation de nos outils. Avant d'aller plus loin, il serait bon de présenter le système EMME/2.

4.1 Le logiciel EMME/2

EMME/2 (acronyme pour *Equilibre Multimodal - Multimodal Equilibrium*) est un logiciel interactif-graphique destiné à la planification du transport urbain de personnes. Ce logiciel a été développé au Centre de recherche sur les transports et il est utilisé par un nombre croissant d'organismes de planification, tant aux Etats-Unis et en Europe qu'au Canada.

Dans cette présentation du logiciel EMME/2, nous mettrons l'accent sur les aspects qui seront utiles pour le développement des outils proposés au chapitre précédent. Le lecteur intéressé trouvera dans l'article de Babin et al. (1982) une présentation plus complète et au troisième chapitre de Spiess (1984) une description plus détaillée et plus technique.

EMME/2 consiste en un ensemble d'outils intégrés qui permet au planificateur de définir, de valider et d'évaluer des scénarios, ou variantes, de réseaux de transport multimodal. Pour évaluer un scénario, le planificateur doit pouvoir prédire la manière dont les voyageurs utiliseront le réseau proposé. A cette fin, EMME/2 met à sa disposition des *modèles d'affectation* qui, à partir d'un réseau et des caractéristiques des voyageurs, tentent de prévoir le nombre de passagers qui utilisent les divers éléments du réseau (liens, lignes de transport en commun, etc), ainsi que le niveau de service qu'ils y trouvent. La définition et la validation des scénarios, de même que l'analyse des résultats produits par une affectation, se font au moyen d'outils interactifs-graphiques.

Le logiciel EMME/2 est formé d'un ensemble d'une quarantaine de modules, répartis en six groupes. Chaque groupe de modules traite un aspect particulier du système et, à l'intérieur de chacun, chaque module remplit une fonction précise. Un module est identifié par un numéro de la forme X.YY, où X indique le groupe auquel il appartient et YY permet de le distinguer à l'intérieur de ce groupe. Le *menu principal* permet à l'usager de choisir le module qu'il veut utiliser. Un seul module peut être exécuté à la fois et, lorsqu'il se termine, l'usager retourne au menu principal. Le tableau 4-1 contient la liste de tous les modules actuellement disponibles dans EMME/2.

Le groupe 1 contient les modules utilitaires, qui servent à gérer la banque de données et l'environnement de travail.

Les groupes 2, 3 et 4 permettent d'éditer les principaux ensembles de données: réseau, matrices et fonctions. Chacun de ces groupes contient tous les outils nécessaires à l'entrée, la modification et la sortie graphique et alphanumérique des éléments correspondants.

Dans le groupe 5 se trouvent les procédures d'affectation. Deux types d'affectation sont disponibles actuellement:

- l'affectation d'équilibre du réseau routier à demande fixe avec pénalités de virage sur les noeuds d'intersection;
- l'affectation du transport en commun à demande fixe selon le modèle de Spiess, présentée à la section 2.2.

1.	LES UTILITAIRES
1.11	Manipulations directes de la banque de données
1.21	Consultation du journal de bord
1.22	Manipulation de scénarios
1.23	Titres et unités
1.41	Entrée / modification / affichage de démarcations
2.	L'EDITEUR DE RESEAU
2.01	Entrée / modification / sortie des modes
2.02	Entrée / modification / sortie des véhicules de t.c.
2.11	Entrée séquentielle du réseau de base
2.12	Modification interactive-graphique du réseau de base
2.13	Affichage du réseau de base
2.14	Sortie alphanumérique du réseau de base
2.15	Affichage des plus courts chemins sur le réseau de base
2.21	Entrée séquentielle des lignes de transport en commun
2.22	Modification interactive-graphique des lignes de t.c.
2.23	Affichage des lignes de transport en commun
2.24	Sortie alphanumérique des lignes de transport en commun
2.31	Entrée / modification / affichage des virages pénalisés
3.	L'EDITEUR DE MATRICES
3.01	Entrée / modification / sortie des groupes de zones
3.11	Entrée séquentielle de matrices
3.12	Entrée / modification interactive de matrices
3.13	Affichage graphique de matrices
3.14	Sortie alphanumérique de matrices
3.16	Affichage d'histogrammes
3.21	Calculatrice interactive de matrices
3.22	Procédures de balancement de matrices
4.	L'EDITEUR DE FONCTIONS
4.11	Entrée séquentielle de fonctions
4.12	Entrée / modification interactive de fonctions
4.13	Affichage graphique de fonctions
4.14	Sortie alphanumérique et tabulation de fonctions
5.	LES PROCEDURES D'AFFECTATION
5.11	Préparation d'un scénario pour une affectation
5.21	Affectation - auto
5.31	Affectation - transport en commun
6.	L'ANALYSE DES RESULTATS
6.11	Rapport de temps et volumes - auto
6.12	Affichage de temps et volumes - auto
6.13	Comparaison graphique de temps et volumes - auto
6.14	Affichage des volumes sur les intersections
6.15	Accessibilité et plus courts chemins sur le réseau-auto
6.21	Rapport de temps et volumes - transport en commun
6.22	Affichage des volumes - transport en commun
6.23	Comparaison graphique de temps et volumes - t.c.

TABLEAU 4-1: Les modules de EMME/2

On trouve également dans ce groupe un module qui permet de définir le type d'affectation désiré et de spécifier les paramètres et ensembles de données pertinents pour effectuer cette affectation. Les résultats de ces affectations sont analysés à l'aide des modules du groupe 6.

Du point de vue informatique, chaque module est un programme autonome. Aucune information n'est passée directement entre deux modules. Tout échange se fait par l'intermédiaire de la banque de données. EMME/2 a été programmé en FORTRAN, et beaucoup de soin a été apporté pour lui conférer une grande portabilité. Les travaux de développement se font maintenant sur des micro-ordinateurs sous le système d'exploitation UNIX mais le logiciel est également implanté dans d'autres environnements: VAX sous VMS, CDC Cyber sous NOS/BE ou NOS/1, IBM mainframe sous TSO, IBM PC sous MSDOS avec le coprocesseur DSI-32, etc.

Intéressons nous maintenant à la communication entre l'usager et le système. Dans EMME/2, toutes les entrées/sorties sont réparties en catégories logiques. Toute information qui sort du système ou qui y entre fait partie d'une et une seule de ces catégories. Voici une brève description des cinq catégories d'entrée/sortie définies dans EMME/2:

DIALOGUE: Le dialogue interactif entre l'usager et le système consiste en une séquence de questions posées par le système et auxquelles répond l'usager. Celles-ci se présentent sous trois formes bien définies, ce qui facilite la tâche de l'usager tout en rendant le dialogue uniforme et compact.

a) La question **YES/NO** est utilisée lorsque l'usager se trouve devant un choix "oui ou non". Elle est caractérisée par le point d'interrogation ("?") qui la termine. Les seules réponses admises sont Y(es), N(o), R(estart) - pour reprendre au début du module courant - et Q(uit) - pour retourner au menu principal.

b) La question **SELECT** permet à l'usager de choisir parmi plusieurs possibilités offertes par un menu. L'usager entre le numéro qui correspond à son choix. Ici encore, il peut terminer le dialogue en répondant R(estart) ou Q(uit).

c) La question **ENTER**, permet à l'usager d'entrer une ou plusieurs valeurs numériques ou alphanumériques en format libre. Les caractéristiques du format libre utilisé dans EMME/2 sont décrites au chapitre 3 de Spiess (1984).

RAPPORT: Cette catégorie comprend tout affichage tabulaire d'information alphanumérique. Chaque page de rapport porte un en-tête standard qui indique le module ayant produit cette page, la date et l'usager, ainsi que des descriptions pertinentes de projet, scénario(s) ou matrice(s). Un rapport peut être dirigé soit vers l'imprimante, soit vers le terminal.

GRAPHIQUE: Cette catégorie, utilisée pour toute entrée et sortie graphiques, comprend deux formats: le *dessin* ("plot" en anglais), dont le but est de visualiser des éléments contenus dans la banque de données, et la *feuille de travail graphique* ("graphic

worksheet"), grâce à laquelle il est possible de modifier interactivement le contenu de la banque de données. Un dessin peut être acheminé soit vers le terminal graphique, soit vers le traceur de courbes.

TABLE: Cette catégorie permet de lire ou écrire des données en mode de traitement par lot ("batch"). Ce mode non-interactif permet d'entrer des données préparées à l'extérieur de EMME/2, de transférer des données entre deux banques différentes et d'utiliser des données contenues dans une banque de données EMME/2 avec des programmes externes. Une table est un fichier séquentiel qui contient des lignes en format de cartes perforées. Les tables qui sont lues par le système se trouvent dans un *fichier de table à l'entrée.* Les tables qui sont produites par le système sont dirigées vers un *fichier de table à la sortie.*

DIAGNOSTIC: Cette dernière catégorie n'est définie que pour la sortie. Normalement, quand l'usager commet une erreur, il reçoit un message d'erreur sous la forme d'une phrase terminée par un point d'exclamation ("!"), qui lui en explique la cause. Chaque fois qu'un tel message est émis, un diagnostic est envoyé au *fichier des diagnostics.* Il est ainsi possible de garder une trace de toutes les erreurs, et d'en reconstruire les détails si nécessaire.

Quelques mécanismes ont été implantés dans EMME/2 pour adapter le dialogue au degré d'expérience de l'usager avec le système. Le concept de *paramètres de modules*, grâce auquel l'usager peut avoir un contrôle très fin sur les modalités d'opération du module, nous sera fort utile. Alors que le dialogue se limite aux questions essentielles pour définir les paramètres de base d'une opération, les paramètres de module déterminent en détail *comment* cette opération doit être effectuée. Au début de l'exécution d'un module, ces paramètres sont initialisés à des valeurs par défaut. Un usager qui ne veut qu'utiliser ces valeurs par défaut n'a rien à faire. Par contre, l'usager qui veut changer les valeurs de ces paramètres peut le faire en choisissant l'option correspondante dans la première question "SELECT" du module. Dans ce cas, il doit parcourir une séquence de dialogue qui lui permet de redéfinir tous les paramètres de ce module. Les nouvelles valeurs ainsi définies peuvent avoir un caractère temporaire (elles sont oubliées en quittant le module) ou devenir les nouvelles valeurs par défaut.

Les données que traite le logiciel EMME/2 sont organisées en une banque de données spécialement conçue pour lui. Ces données peuvent être regroupées en trois ensembles principaux:

1) Les données de réseau: Cet ensemble de données fournit la description complète d'une *infrastructure de transport* dans une région (modes, noeuds, liens, virages, véhicules et lignes de transport en commun), ainsi que les résultats (temps et volumes) qui y sont associés, après qu'une affectation ait été effectuée. On appelle *scénario* cette description de réseau. Une banque de données peut en contenir plusieurs, chacun correspondant alors à une situation particulière.

2) Les données matricielles: Cet ensemble regroupe toutes les données qui sont associées avec les *zones origines et destinations*. Parmi ces données figurent les matrices de demande, les données socio-économiques qui caractérisent les zones ou les interactions entre les zones, ainsi que les données qui résultent d'une affectation et qui décrivent le niveau de service.

3) Les fonctions: Les relations fonctionnelles utilisées dans les modèles de prévision constituent des données qui sont spécifiées par l'usager à l'aide d'expressions algébriques et logiques. Par exemple, les *fonctions volume-délai*, qui représentent la relation entre le volume de trafic sur un lien et le temps nécessaire pour le parcourir, sont utilisées dans le modèle d'affectation routière afin de tenir compte de la congestion.

En terminant cette présentation du logiciel EMME/2, nous examinerons les différents types de modes de transport qui y sont considérés. Le *mode de transport privé*, ou *mode auto*, est normalement utilisé pour les déplacements par voiture privée. Le temps de parcours d'un lien en auto est calculé à l'aide de la *fonction volume-délai* qui lui est associée.

Les *modes de transport en commun* permettent les déplacements sur des lignes de transport en commun à itinéraire fixe. Le temps de parcours de chaque segment de ligne est calculé à l'aide de la *fonction de temps de transport en commun* qui lui est associée. Cette fonction permet de tenir compte de la longueur du lien correspondant au segment, ainsi que du temps requis pour parcourir ce lien en auto, lorsque les résultats d'une affectation auto sont disponibles.

Finalement, les *modes auxiliaires* sont utilisés pour tout déplacement par transport en commun qui n'emploie pas de lignes mais se fait sur un lien. Le temps de parcours d'un lien par mode auxiliaire est calculé à l'aide de la *vitesse* associée à ce mode. Lorsqu'un *facteur de temps* est associé à un mode auxiliaire, le temps de parcours d'un lien est calculé en multipliant ce facteur par le temps de parcours du lien en auto.

4.2 L'implantation de DISA (*)

Certains de nos outils seront implantés en tant que modules de EMME/2. Cependant, ils ne seront utilisés que pour des applications particulières. D'autres fonctions prévues, le filtre "GRAPH" par exemple, pourront, au moins dans un premier temps, être accomplies à l'aide de modules qui existent déjà.

Afin que les utilisateurs de EMME/2 ne subissent aucun contrecoup dû à l'ajout des modules de DISA, nous avons tenu à les implanter sans modifier le système actuel. La nouvelle définition de filtre que nous proposerons tient compte de cette considération. Soulignons que, à part une exception dont il sera question plus loin, nos programmes utilisent toujours la banque de données en mode "lecture".

Les données "filtrées", c'est-à-dire les données associées aux individus, sont contenues dans des fichiers de *table*. Un filtre lit un jeu de données qui se trouve dans un *fichier de table à l'entrée*, le traite, puis

(*) Notre ensemble d'outils constituant une interface entre des données désagrégées ("DISaggregate") et agrégées ("Aggregate"), les premiers utilisateurs nous ont suggéré de le baptiser "DISA".

écrit le jeu de données modifié dans un *fichier de table à la sortie.* Dans ce nouveau contexte, certaines données auxiliaires (le réseau et la définition des options considérées) sont lues directement de la banque de données EMME/2, alors que d'autres (la définition des attributs généralisés) sont spécifiées par l'usager au moyen d'un dialogue. La figure 4-1 illustre le fonctionnement d'un filtre dans un environnement EMME/2.

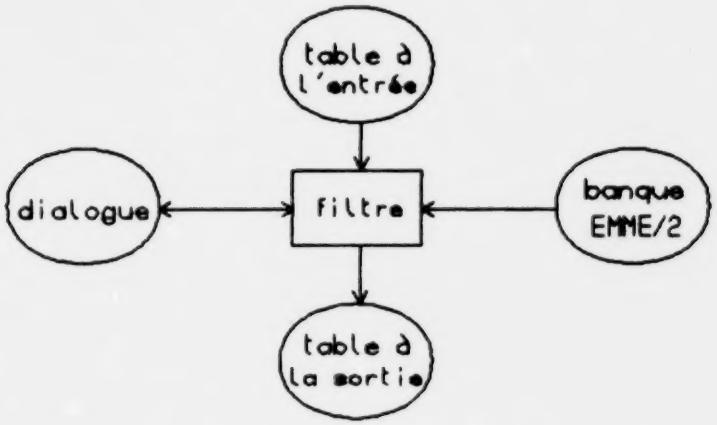

FIGURE 4-1: Fonctionnement d'un filtre dans un environnement EMME/2

Chaque filtre a ses propres *paramètres.* Par exemple, un paramètre du filtre "ACCES" est la distance maximale à considérer lors de la sélection des noeuds d'accès/issue. Les valeurs de tous les paramètres d'un filtre sont spécifiées par l'usager au moyen d'un dialogue. Le mécanisme des *paramètres de module* donne à l'usager la possibilité d'abréger ce dialogue en lui permettant de spécifier des valeurs par défaut pour chacun des paramètres d'un filtre. Les valeurs ainsi affectées aux paramètres d'un filtre sont "globales", c'est-à-dire qu'elles s'appliquent au traitement de

tous les individus considérés pour cette exécution du filtre. Toutefois, il est possible d'utiliser des valeurs spécifiques pour un individu en les ajoutant aux données associées à celui-ci.

Les données associées à un individu ne proviennent pas toutes de la même source et ne sont pas toutes traitées de la même façon par les filtres. Chacune appartient à un des quatre groupes suivants:

- Les coordonnées d'origine et de destination sont les données de base qui doivent être spécifiées par l'usager. Comme tous les filtres les requièrent, ils ne les modifient jamais.

- Certaines données, comme les noeuds d'accès/issue et les attributs d'une stratégie, sont ajoutées au cours du passage à travers les filtres. L'usager est libre de les modifier avant de les fournir en entrée à un autre filtre. Cela lui permet, par exemple, de tenir compte des barrières géographiques en éliminant certains noeuds d'accès/issue retenus par le filtre "ACCES".

- Des valeurs peuvent être spécifiées pour tous les paramètres de tous les filtres qui traiteront cet individu. Ces valeurs n'apparaissent plus dans les données de l'individu après le passage à travers le filtre auquel elles sont destinées. Tous les autres filtres les laissent inchangées.

- Trois données numériques peuvent également être associées à un individu. Ces données ne sont pas touchées par les filtres. Elles seront éventuellement utilisées pour effectuer un traitement sélectif des individus. De plus, elles permettent à l'usager de conserver

certaines informations sur l'individu tout au long du passage à travers les filtres. Nous prévoyons ajouter bientôt la possibilité d'associer des données de type "texte" à un individu, ce qui sera plus utile.

Les fichiers de table à l'entrée et à la sortie contiennent ces données en format libre sous une forme compacte. L'appendice A donne la description des données associées à un individu. Le fichier de table à la sortie est prêt à être fourni en entrée à un autre filtre. Les résultats d'un filtre sont également disponibles sous une forme plus détaillée dans un *rapport*.

Dans la première phase de développement, deux modules de DISA ont été implantés. Il s'agit du module 5.91, "Sélection des noeuds d'accès et d'issue", qui correspond au filtre "ACCES", et du module 5.92 "Evaluation d'options individuelles", qui résulte de la fusion des filtres "STRAT", "EVALATT" et "RAPPORT". Ces modules sont décrits dans la section suivante.

4.3 Les modules de DISA

Le module 5.91 sélectionne les noeuds du réseau de base qui sont les plus proches des coordonnées d'origine (noeuds d'accès) et de destination (noeuds d'issue) fournies en entrée. Deux critères sont utilisés pour cette sélection:

- une distance maximale entre les noeuds du réseau de base et les coordonnées de l'individu;

- un nombre maximal de noeuds à retenir.

La combinaison de ces deux critères permet de sélectionner tous les noeuds situés à moins d'une certaine distance des coordonnées aussi bien que les n noeuds les plus proches des coordonnées. Ces critères sont contrôlés par les deux paramètres du filtre, à savoir:

- la distance maximale à considérer, **dmax**;
- le nombre maximal de noeuds à retenir, **nmax**.

Si, pour un individu donné, les valeurs de ces paramètres sont différentes des valeurs globales, elles peuvent être spécifiées avec les autres données de l'usager. Les mots-clefs **dmax=** et **nmax=** sont alors utilisés.

La distance considérée ici est la *distance euclidienne* entre les coordonnées des noeuds et celles de l'individu. En spécifiant la distance maximale à considérer, l'usager doit donc tenir compte du système de coordonnées qu'il utilise. Il est généralement recommandé que le système de coordonnées soit proportionnel aux distances véritables.

La sélection des noeuds d'accès et d'issue implique, pour chaque paire de coordonnées considérée, une recherche dans la table des noeuds du réseau. La structure du problème suggère d'utiliser un algorithme qui travaille avec un **tas**. Pour la description de l'algorithme retenu, nous utiliserons la notation suivante:

Constantes:

dmax	distance maximale entre les noeuds sélectionnés et les coordonnées du point considéré
nmax	nombre maximal de noeuds à sélectionner

Variables et tableaux:

n	noeuds du réseau
x(n),y(n)	coordonnées des noeuds du réseau
xp, yp	coordonnées du point considéré
nb	nombre de noeuds sélectionnés
nsel(i)	noeuds sélectionnés
dsel(i)	distance entre les noeuds sélectionnés et les coordonnées du point considéré

ALGORITHME:

ETAPE 0: (Initialisation)

nb:=0.

ETAPE 1: (Sélection des noeuds)

Pour chaque noeud n faire

a) $d:=((xp-x(n))^2+(yp-y(n))^2)^{1/2}$;

b) si $d \leq dmax$ alors

si nb<nmax alors effectuer ETAPE 2,

sinon et si d<dsel(1) effectuer ETAPE 3.

ETAPE 2: (Ajout d'une entrée dans le tas)

a) nb:=nb+1, j:=nb, si j≠1 alors i:=⌊j/2⌋;

b) tant que dsel(i) < d et i≠j faire

dsel(j):=dsel(i), nsel(j):=nsel(i),

j:=i, si j≠1 alors i:=⌊j/2⌋;

dsel(j):=d, nsel(j):=n.

ETAPE 3: (Insertion d'une entrée dans le tas)

a) i:=1, j:=2, si dsel(3)>dsel(2) alors j:=3;

b) tant que d<dsel(j) et j≤nmax faire

dsel(i):=dsel(j), nsel(i):=nsel(j),

i:=j, j:=2*i, si dsel(j+1)>dsel(j) alors j:=j+1;

dsel(i):=d, nsel(i):=n.

Afin de rendre plus concis l'énoncé de l'algorithme, nous nous sommes limités à la recherche des noeuds les plus proches d'un seul point. Dans le cas qui nous intéresse, il s'agit de déterminer les ensembles de noeuds les plus proches de deux points différents. L'adaptation se fait très facilement, en travaillant avec deux tas et en exécutant deux fois les opérations a) et b) de l'étape 1.

L'exécution du module 3.91 débute avec la question suivante:

```
3.91 DISA: SELECTION OF ACCESS/EGRESS MODES

Select: 1= enter trip data using batch entry
        2= enter trip data interactively
        3= change module parameters
        4= end
```

L'usager peut alors faire lire ses données à partir du fichier de table qu'il a préparé. S'il le préfère, il peut les entrer directement au terminal. La suite du dialogue permet à l'usager de spécifier les valeurs des deux paramètres de ce filtre, puis de choisir le genre de sortie (rapport, table ou les deux) qu'il désire. Dans l'exemple qui suit, le fichier de table à l'entrée considéré est le suivant:

```
a 7305 2225 1260 2800 nmax=2 eps=0.1
a 6210 1040 6730 5740 u2=1.
a 2960 2350 3970 2820
a 2960 2350 4950 2580 u2=2.
a 2910 2490 5130 2340
```

Après avoir choisi d'entrer les données en mode de traitement par lot, nous avons parcouru le dialogue suivant:

```
Enter: Maximum distance(1000.0)=500

Enter: Maximum number of nodes(  4)=1

Select: Type of output
        1= report only
        2= punch only
        3= report and punch
         3

Select: List device
        1= Terminal
        2= Printer
         2

  5 cards processed, error count=    0

  1 pages sent to print file.
```

Le rapport qui suit a été envoyé au fichier d'impression:

```
EMME/2 Module: 5.91          Date: 84 02 13          User: UdeM_IRO..IC          Page:  218
Project:      S T O C K H O L M    E X A M P L E    D A T A    B A S E
Scenario 4000: STOCKHOLM TRANSIT NETWORK
--------------------------------------------------------------------------------------------


DISA: SELECTION OF ACCESS/EGRESS MODES
######################################


Global criteria:
Maximum distance:                500.00 m
Maximum number of nodes:             1


Coordinates (From,to):      7305   2225        1260   2800
Maximum number of nodes:               2
Epsilon:                              .1
Access nodes:               1706  29.15 m     1703 190.39 m
Egress nodes:               1256 200.00 m     1257 278.03 m
```

```
Coordinates (From,to):     6210   1040        6730   5740
User defined data #2:                 1
Access nodes:              1732 140.00 m
Egress nodes:              1492 100.00 m

Coordinates (From,to):     2960   2350        3970   2820
Access nodes:              1102 100.00 m
Egress nodes:              1764 205.91 m

Coordinates (From,to):     2960   2350        4950   2580
User defined data #2:                 2
Access nodes:              1102 100.00 m
Egress nodes:              1117  60.83 m

Coordinates (From,to):     2910   2490        5130   2340
Access nodes:              1102  64.03 m
Egress nodes:              1129  50.00 m
```

Finalement, voici le fichier de table à la sortie qui a été produit:

```
a  7305  2225  1260  2800 1706-1703 1256-1257 eps=.1
a  6210  1040  6730  5740 1732 1492 u2=1
a  2960  2350  3970  2820 1102 1764
a  2960  2350  4950  2580 1102 1117 u2=2
a  2910  2490  5130  2340 1102 1129
```

Les paramètres du module 5.91 permettent à l'usager de spécifier des valeurs par défaut pour les deux paramètres de ce filtre. Le type de noeud à sélectionner est un autre paramètre du module. En effet, les noeuds d'accès peuvent être choisis parmi les centroïdes et les noeuds réguliers ou parmi un seul de ces deux ensembles.

Voici un exemple du dialogue par lequel l'usager peut changer les paramètres de ce module:

```
Do you want a default for maximum distance?y
Enter: Default value for maximum distance(500.00)=1000

Do you want a default for maximum number of nodes?n
```

```
Select: Type of access/egress nodes
        1= centroids only
        2= regular nodes only
        3= centroids or regular nodes
         2

Save current values of module parameters on disk?n
```

Le module 5.92 calcule la stratégie optimale qui permet au voyageur de se rendre de son origine à sa destination en utilisant les ensembles de noeuds d'accès et d'issue qui lui sont associés. Il calcule également les attributs de cette stratégie. Si l'usager le désire, un rapport détaillé sur la stratégie et ses attributs est produit. Ce module remplit donc les fonctions des filtres "STRAT", "EVALATT" et "RAPPORT".

Pour le calcul des stratégies optimales, l'algorithme utilisé est celui de Spiess, avec les modifications proposées à la section 3.2. L'algorithme de base a déjà été programmé par Spiess pour le module 5.31 "Affectation du transport en commun". Nous n'avons donc eu qu'à adapter ce programme à nos propres fins, ce qui a facilité l'implantation du module 5.92.

Dans le contexte de l'affectation du transport en commun, la demande est affectée sur les segments de ligne et les liens inclus dans la stratégie calculée. Les volumes qui résultent de cette affectation sont écrits dans la banque de données et peuvent ensuitre être consultés sous forme de rapports ou de graphiques. Dans le contexte qui nous intéresse, nous procédons de façon analogue. A chaque voyageur est associé un *volume* qui est affecté sur les liens et les segments de ligne qui appartiennent à la stratégie calculée. Ici encore, les volumes qui résultent de cette affectation sont écrits dans la banque de données. L'usager peut ainsi utiliser le module 6.22, "Affichage des volumes de transport en commun",

pour visualiser une stratégie. En dépit de certaines lacunes - par exemple il n'est pas possible d'afficher l'origine et la destination du voyageur - nous pouvons quand même offrir à l'usager un outil de base en attendant l'implantation du filtre "GRAPH".

Parmi les données auxiliaires requises pour ce filtre figure la définition des options à considérer. Or, on remarque que la spécification des options ressemble beaucoup à la préparation d'un scénario pour une affectation de transport en commun. Dans les deux cas, il faut déterminer le sous-ensemble de modes permis, ainsi que les valeurs des paramètres pertinents (facteur de temps d'attente, poids associés aux différentes composantes de temps). Cela nous suggère d'utiliser le module 5.11, "Préparation d'un scénario pour une affectation", pour spécifier les options à considérer. Voci un exemple du dialogue de ce module:

```
Active transit and aux. transit modes for assignment

Enter: Mode(s)=bap

Select: Source for effective headways
        1= actual line headways
        2= actual line headways with maximum
        3= user defined line data
         1

Select: Source for boarding times
        1= same value for entire network
        2= node specific using user defined node data
         1
Enter: Boarding time (mins)=2.5

Select: Source for wait time factors
        1= same value for entire network
        2= node specific using user defined node data
         1
Enter: Wait time factor=0.5
```

Enter: Wait time weight=2

Enter: Auxiliary transit time weight=2

Enter: Boarding time weight=2

L'usager devra donc spécifier chaque option qu'il veut considérer à l'aide du module 5.11, puis exécuter le module 5.92 pour calculer les stratégies optimales qui correspondent à cette option pour tous les individus concernés.

Aux paramètres normalement associés à l'affectation de transport en commun s'ajoutent de nouveaux paramètres qui découlent des modifications apportées à l'algorithme de Spiess. Ces paramètres, considérés comme les paramètres du filtre, sont:

- la vitesse d'accès/issue, **spd**, utilisée pour calculer le temps que met un individu pour se rendre de son origine jusqu'aux noeuds d'accès et des noeuds d'issue jusqu'à sa destination;
- le volume associé à chaque individu, **vol**;
- le paramètre de dispersion, **phi**, utilisé dans la fonction "logit" qui donne la probabilité qu'un noeud d'accès soit utilisé;
- le paramètre de coupure, **eps**, qui détermine la plus petite probabilité à accorder à un noeud d'accès.

Si, pour un individu donné, les valeurs de ces paramètres sont différentes des valeurs globales, elles peuvent être spécifiées avec les autres données de l'usager. Les mots-clefs **spd=**, **vol=**, **phi=**, et **eps=** sont alors utilisés.

Les résultats du module 5.92 sont, pour chaque individu, la stratégie optimale pour l'option considérée et les attributs de cette stratégie. Pour le moment, seuls des attributs simples sont calculés. Dans une prochaine phase de développement, nous prévoyons donner à l'usager la possibilité de définir des attributs généralisés au moyen d'expressions algébriques et logiques. A cette fin, il est prévu d'utiliser les mécanismes qui existent déjà dans EMME/2 pour la spécification et l'évaluation de fonctions. Voici la définition des attributs simples qui sont calculés par le module 5.92 et les mots-clefs qui sont utilisés pour les identifier:

- le temps-en-véhicule, **inveh**;
- le temps d'attente, **wait**;
- le temps d'embarquement en transport en commun, **board**;
- le nombre d'embarquements en transport en commun, **nbotr**;
- le temps d'utilisation de modes auxiliaires, **auxtr**;
- le temps d'utilisation de modes auxiliaires à partir de l'origine jusqu'au premier embarquement, **access**;
- le temps d'utilisation de modes auxiliaires à partir du dernier débarquement jusqu'à la destination, **egress**;
- le nombre de fois où des modes auxiliaires sont utilisés dans la stratégie (il s'agit d'une généralisation de la notion d'embarquement pour le transport en commun), **nboaux**;
- l'impédance, qui est la somme pondérée du temps-en-véhicule, du temps d'attente, du temps d'embarquement et du temps d'utilisation de modes auxiliaires, **imped**.

Tous ces attributs, sauf l'impédance, sont calculés individuellement pour chaque mode et globalement pour tous les modes de transport en commun ou pour tous les modes auxiliaires, selon le cas. En plus des modes auxiliaires habituels, nous considérons ici le mode *accès/issue*, qui est utilisé pour se rendre de l'origine aux noeuds d'accès et des noeuds d'issue à la destination. Ce nouveau mode est identifié par un astérisque ("*").

L'exécution du module 5.92 débute avec la question suivante:

```
5.92 DISA: EVALUATION OF TRIP ALTERNATIVES

Select: 1= enter trip data using batch entry
        2= enter trip data interactively
        3= change module parameters
        4= end
```

Comme dans le module 5.91, l'usager peut faire lire ses données à partir du fichier de table qu'il a préparé, ou bien les entrer directement au terminal. L'usager procède ensuite à la spécification des valeurs des quatre paramètres du filtre. Ici encore, il peut obtenir les résultats du filtre sous forme de rapport, de table à la sortie, ou les deux.

Un rapport présente d'abord la description de l'option considérée (modes permis, poids associés aux composantes de temps, etc.). Pour chaque individu apparaît ensuite la stratégie calculée pour l'option considérée et un tableau qui comprend tous les attributs calculés pour cette stratégie. Cette stratégie est donnée sous une forme très détaillée et constitue donc une quantité importante d'information. C'est pourquoi l'usager peut décider s'il veut ou non qu'elle fasse partie du rapport.

L'usager a un contrôle élevé sur l'information qui se trouve dans la table à la sortie. Il décide d'abord s'il veut ou non que la stratégie, sous une forme très compacte, y apparaisse. Un dialogue lui permet ensuite de sélectionner les attributs qu'il veut inclure dans la table en entrant leurs identificateurs. Un attribut total pour tous les modes est spécifié par un mot-clef simple. Le même attribut, mais pour un mode en particulier, est spécifié à l'aide du même mot-clef, suivi d'un point (".") et de l'identificateur de ce mode (une lettre). Par exemple, inveh correspond au temps-en-véhicule total pour tous les modes, et inveh.m au temps-en-véhicule pour le mode "m" (metro). Pour apparaître dans la table à la sortie, un attribut doit non seulement être choisi par l'usager mais sa valeur doit aussi se trouver dans un intervalle également déterminé par l'usager. Ce mécanisme permet, entre autres, de laisser tomber les attributs dont la valeur est nulle.

Dans l'exemple qui suit, nous considérons un fichier de table à l'entrée décrivant un seul voyageur:

```
a  7305  2225  1260  2800  1706-1703 1256-1257 eps=.1
```

Après avoir choisi d'entrer les données en mode de traitement par lot, nous avons parcouru le dialogue suivant:

```
Enter: Access/egress speed( 350.00)=5000
Enter: Volume( 100.00)=
Enter: Dispersion parameter (   1.00)=
Enter: Access cut-off parameter(   0.05)=

Select: Type of output
        1= report only
        2= punch only
        3= report and punch
         3
```

```
Report strategy?y

Punch strategy?y

Enter: information to be punched
=imped
=wait board inveh
=inveh.?
Modes allowed with keyword inveh  are: b t p d
=inveh.b inveh.t inveh.p inveh.d
=access egress auxtr
=auxtr.?
Modes allowed with keyword auxtr  are: g $
=auxtr.g auxtr.$
=

Select: List device
        1= Terminal
        2= Printer
         2

   1 cards processed, error count=    0

   1 pages sent to print file.
```

La première page du rapport décrit l'option considérée:

```
EMME/2 Module: 5.92          Date: 86 06 06          User: UdeM_IRO..IC          Page:  230
Project:       S T O C K H O L M    E X A M P L E    D A T A    B A S E
Scenario 4000: STOCKHOLM TRANSIT NETWORK
-------------------------------------------------------------------------------------------

DISA: EVALUATION OF TRIP ALTERNATIVES
#########################################

Scenario:                4000
Effective headways:      Actual line headways
Boarding time:              5.00 min
Wait time factor:           0.50
Wait time weight:           1.00
Aux. transit time weight:   1.00
Boarding time weight:       1.50
Auxiliary transit mode: g    1335 links, speed        5.00 m /hr
Transit mode:           b      31 lines           960 segments
Transit mode:           t       4 lines            82 segments
Transit mode:           p       1 lines             8 segments
Transit mode:           d       2 lines             8 segments

Access/egress speed:      5000.00
Volume:                    100.00
Dispersion parameter:        1.00
Access cut-off parameter:    0.05
```

La suite du rapport contient une section pour chaque individu traité.

EMME/2 Module: 5.92 Date: 86 06 06 User: UdeM_IRO..IC Page: 231
Project: S T O C K H O L M E X A M P L E D A T A B A S E
Scenario 4000: STOCKHOLM TRANSIT NETWORK

Coordinates (From,to): 7305 2225 1260 2800
Access cut-off parameter: 0.10

Strategy:

At	to	mode	line	volume	impedance	waiting	boarding	headway	time
origin				100.00	76.02	-	-	-	-
	1706	t		67.15	75.44	-	-	-	0.35
	1703	t		32.85	74.22	-	-	-	2.28
1706				67.15	75.44	2.37	5.00	-	-
	1105	b	066	35.34	64.97	-	-	9.00	29.00
	1140	b	053	31.81	66.22	-	-	10.00	15.50
1703				32.85	74.22	5.01	5.00	-	-
	1140	b	053	32.85	61.72	-	-	10.00	11.00
1140				64.66	50.72	-	-	-	-
	1981	g		64.66	50.72	-	-	-	0.60
	1966	g		64.66	50.12	-	-	-	1.20
1966				64.66	48.92	0.69	5.00	-	-
	1968	t	tb4	17.63	40.87	-	-	5.00	4.00
	1968	t	tb2	17.63	40.87	-	-	5.00	4.00
	1960	t	tb1	29.39	40.54	-	-	3.00	12.50
1968				35.27	36.87	-	-	-	-
	1111	g		35.27	36.87	-	-	-	0.60
1111				35.27	36.27	1.88	5.00	-	-
	1206	b	54x	13.23	26.89	-	-	10.00	4.50
	1206	b	054	22.04	26.89	-	-	6.00	4.50
1105				35.34	35.97	-	-	-	-
	1110	g		35.34	35.97	-	-	-	1.20
1110				35.34	34.77	1.88	5.00	-	-
	1206	b	54x	13.25	25.39	-	-	10.00	3.00
	1206	b	054	22.09	25.39	-	-	6.00	3.00
1960				29.39	28.04	-	-	-	-
	1208	g		29.39	28.04	-	-	-	2.15
1208				29.39	25.89	2.50	5.00	-	-
	1256	b	056	29.39	15.89	-	-	5.00	13.50
1206				70.61	22.39	2.50	5.00	-	-
	1256	b	056	70.61	12.39	-	-	5.00	10.00
1256				100.00	2.39	-	-	-	-
	destination	t		100.00	-	-	-	-	2.40
1257				0.00	3.33	-	-	-	-
	destination	t		0.00	-	-	-	-	3.34

Time components:

	inveh	wait	board	nbotr	auxtr	access	egress	nboaux
g gang	-	-	-	-	2.43	0.00	0.00	1.65
b buss	32.47	7.06	13.53	2.71	-	-	-	-
t t-bana	5.08	0.44	3.23	0.65	-	-	-	-
p p-tog	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-
d diverse	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-
f access/egress	-	-	-	-	3.39	0.99	2.40	2.00
Total:	37.55	7.50	16.76	3.35	5.82	0.99	2.40	3.65

CPU time: strategy: 3.28 (3.28) total: 4.94 (4.94)

C'est la deuxième partie de l'algorithme de Spiess, "Affectation des voyages au réseau", qui nous fournit la description de la stratégie. Les noeuds d'accès et de correspondance sont balayés en ordre topologique inverse et toute l'information qui décrit les lignes attrayantes à chacun de ces noeuds ou le chemin suivi en quittant un noeud par un mode auxiliaire, est alors disponible. Le rapport sur une stratégie comprend un bloc d'information sur l'origine, et sur chaque noeud d'accès ou de correspondance. La première ligne du bloc comporte différentes informations ayant trait au noeud lui-même: le volume, l'impédance jusqu'à la destination et, si le noeud est quitté en transport en commun, les temps d'attente et d'embarquement. On trouve ensuite de l'information sur les lignes attrayantes au noeud considéré ou sur le chemin utilisé pour quitter le noeud par mode auxiliaire, selon le cas. Examinons, dans le rapport ci-dessus, les blocs qui correspondent aux noeuds 1140 et 1966. Du noeud 1140, le voyageur se rend au noeud 1981, puis au noeud 1966, en utilisant le mode auxiliaire "g" ("gång" signifie marche en suédois). Au noeud 1966, le voyageur a le choix d'utiliser la ligne tb4 ou tb2 jusqu'au noeud 1968, ou la ligne tb1 jusqu'au noeud 1960.

Finalement, voici le fichier de table à la sortie qui a été produit:

```
a   7305  2225  1260  2800 1706-1703 1256-1257 strat=(@1706   35.34 b 066
 1105   31.81 b 053    1140 @1703   32.85 b 053    1140 @1140   64.66 g 1981
 g 1966 @1966   17.63 t  tb4   1968   17.63 t  tb2   1968   29.39 t  tb1
 1960 @1968   35.27 g 1111 @1111   13.23 b 54x    1206   22.04 b 054    1206
 @1105   35.34 g 1110 @1110   13.25 b 54x    1206   22.09 b 054    1206 @1960
   29.39 g 1206 @1208   29.39 b 056    1256 @1206   70.61 b 056    1256)
inveh=37.53 inveh.b=32.47 inveh.t=5.08 wait=7.50 board=16.76 auxtr=5.82
auxtr.g=2.43 auxtr.t=3.39 access=.99 egress=2.40 imped=76.01
```

Examinons la représentation de la stratégie employée ici. Dans notre recherche d'une forme compacte, nous avons tenu compte de plusieurs facteurs. Nous voulions une représentation qui puisse être lue éventuellement par d'autres filtres et être comparée facilement avec une observation. De plus, il nous semblait important que cette représentation ait un sens pour le lecteur. Une stratégie étant un *graphe connexe acyclique*, nous avons pensé nous inspirer des représentations linéaires de ces graphes. Malheureusement, les ouvrages que nous avons consultés proposaient des représentations linéaires pour des arbres (binaires ou autres), mais aucune pour les graphes acycliques. Nous avons donc adopté la représentation qui nous semblait la plus naturelle en utilisant, ici encore, la deuxième partie de l'algorithme de Spiess.

Cette forme compacte contient de l'information sur l'origine, et sur chaque noeud d'accès et de correspondance. L'information varie suivant le type de mode de transport utilisé pour quitter le noeud. Lorsque le noeud est quitté en utilisant un mode de transport en commun, l'information prend la forme suivante:

@n <v m l n>

Le bloc entre crochets est répété pour chacune des lignes attrayantes au noeud; il indique le volume qui utilise cette ligne, le mode et l'iden-

tificateur de celle-ci, ainsi que le noeud de descente. Lorsque le noeud est quitté en utilisant un mode auxiliaire, l'information prend la forme suivante:

@n v <m n>

Le bloc entre crochets est répété pour chacun des liens sur le chemin emprunté pour quitter le noeud; il indique le volume utilisant ce chemin, puis pour chaque lien, son mode et son noeud terminal. Examinons, sous la forme compacte que nous venons de présenter, les blocs qui correspondent aux noeuds 1140 et 1966. Il y a une probabilité de 65% que le voyageur atteigne le noeud 1140, et dans ce cas, il se rend au noeud 1981 et au noeud 1966, en utilisant le mode auxiliaire "g". Au noeud 1966, le voyageur a le choix d'utiliser la ligne tb4 ou la ligne tb2 jusqu'au noeud 1968, ou la ligne tb1 jusqu'au noeud 1960.

Les paramètres du module 5.92 permettent à l'usager de spécifier les valeurs par défaut des quatre paramètres du filtre. Un autre paramètre de ce module est l'intervalle dans lequel les attributs d'une stratégie doivent se trouver pour apparaître dans la table à la sortie.

Les volumes affectés sur les liens et les segments de lignes inclus dans les stratégies calculées sont ajoutés aux volumes qui s'y trouvent déjà. Cependant, au début de l'exécution du module, tous les volumes peuvent être initialisés à 0. C'est ce que contrôle le dernier paramètre du module.

Voici un exemple du dialogue par lequel l'usager peut changer les paramètres du module:

```
Do you want a default for access/egress speed?n

Do you want a default for volume?y
Enter: Default value for volume (   1.00)=

Do you want a default for dispersion parameter?y
Enter: Default value for dispersion parameter (   1.00)=

Do you want a default for access cut-off parameter?y
Enter: Default value for access cut-off parameter(   0.05)=

Enter: Lower,upper threshold(     0,888888)=

Initialize transit volumes?y

Save current values of module parameters on disk?n
```

5. EXEMPLE D'UTILISATION

En 1983, l'agence de planification du transport urbain de Stockholm, Suède, le "Stockholms Läns Landsting Trafikkontoret", entreprenait une vaste étude dont un des buts est la calibration de modèles désagrégés dans un contexte de choix de mode de transport et de destination. Une enquête, tenue à l'échelle du comté de Stockholm, est présentement en cours et durera près d'un an. Le système DISA sera utilisé pour évaluer les attributs des options offertes aux voyageurs interrogés.

Pour les fins de l'enquête, 5000 familles ont été sélectionnées. Chacun des membres de ces familles doit décrire tous les déplacements qu'il effectue au cours d'une semaine. L'information ainsi recueillie comprend: l'origine, la destination et le but du voyage, les modes et les lignes de transport utilisés ainsi que les heures de départ et d'arrivée.

Afin de mettre au point les mécanismes de cueillette et de traitement des données, deux enquêtes pilote ont été menées, l'une en novembre 1983 et l'autre en novembre 1984. Les données qui seront utilisées pour l'exemple présenté dans ce chapitre proviennent de la seconde enquête pilote.

Le fichier de données que nous avons reçu de Stockholm contient la description de 103 déplacements effectués par les membres de deux familles, pour des périodes de sept et de trois jours respectivement. Ces voyages sont répartis comme suit:

Individu	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5	Jour 6	Jour 7
1	2	3	4	5	5	6	3
2	5	5	5	6	2	2	3
3	6	2	4	4	5	4	2
4	5	2	1	-	-	-	-
5	2	6	4	-	-	-	-

TABLEAU 5-1: Répartition des voyages

Cependant, dans l'exemple présenté ici, il n'est pas possible de considérer tous ces déplacements pour les trois raisons suivantes:

- A cause de la nature de l'échantillon, certains déplacements apparaissent plusieurs fois. En effet, les individus considérés effectuent presque tous les jours les mêmes déplacements, par exemple pour se rendre au travail et en revenir.
- Certains déplacements sont très courts - leur distance varie entre 50 et 500m - et sont effectués soit à pied, soit en auto. Or, le réseau dont nous disposons n'est pas codifié de façon assez fine pour nous permettre de considérer de tels déplacements.
- Quelques voyages ont exactement les mêmes coordonnées d'origine et de destination. Il s'agit probablement d'erreurs de codification.

Pour les fins de cet exemple, 30 voyages ont finalement été retenus. La figure 5-1 illustre le réseau routier dans la région de Stockholm où ont lieu tous les déplacements considérés. La zone plus dense située au nord correspond au centre-ville.

Le but de cet exemple est de montrer qu'il y a une correspondance entre les stratégies calculées et les observations. Nous voulons aussi, bien sûr, montrer que le système fonctionne correctement.

Dans un premier temps, nous avons extrait, du fichier de données reçu de Stockholm, les coordonnées d'origine et de destination des voyages retenus. Nous avons ensuite utilisé le module 5.91 pour déterminer les quatre noeuds d'accès et d'issue à moins de 1 kilomètre de l'origine et de la destination. La ville de Stockholm étant constituée de plusieurs îles, il est important de tenir compte des barrières naturelles lors de la sélection des noeuds d'accès et d'issue. A l'aide du logiciel EMME/2, nous avons vérifié que tous les noeuds sélectionnés se trouvent bien sur la même île que le point auquel ils sont associés.

Avant de spécifier les options à considérer, il nous a fallu explorer le réseau dont nous disposions. A Stockholm les modes de transport disponibles sont l'automobile, la marche et les cinq modes de transport en commun suivants:

- l'autobus local (lokalbuss);
- l'autobus régional (regionbuss);
- le métro (tunnelbana);
- deux sortes de train de banlieue (pendel-tog et jvg).

La figure 5-1 représente le réseau routier dans la région de Stockholm où ont lieu tous les voyages considérés dans cet exemple. Les réseaux d'autobus (local et régional), de métro et de train de banlieue (pendel-tog et jvg) sont illustrés aux figures 5-2 à 5-6. Les résidences des deux familles considérées dans cet exemple sont situées au nord-ouest de ces cartes, et sont indiquées par des losanges.

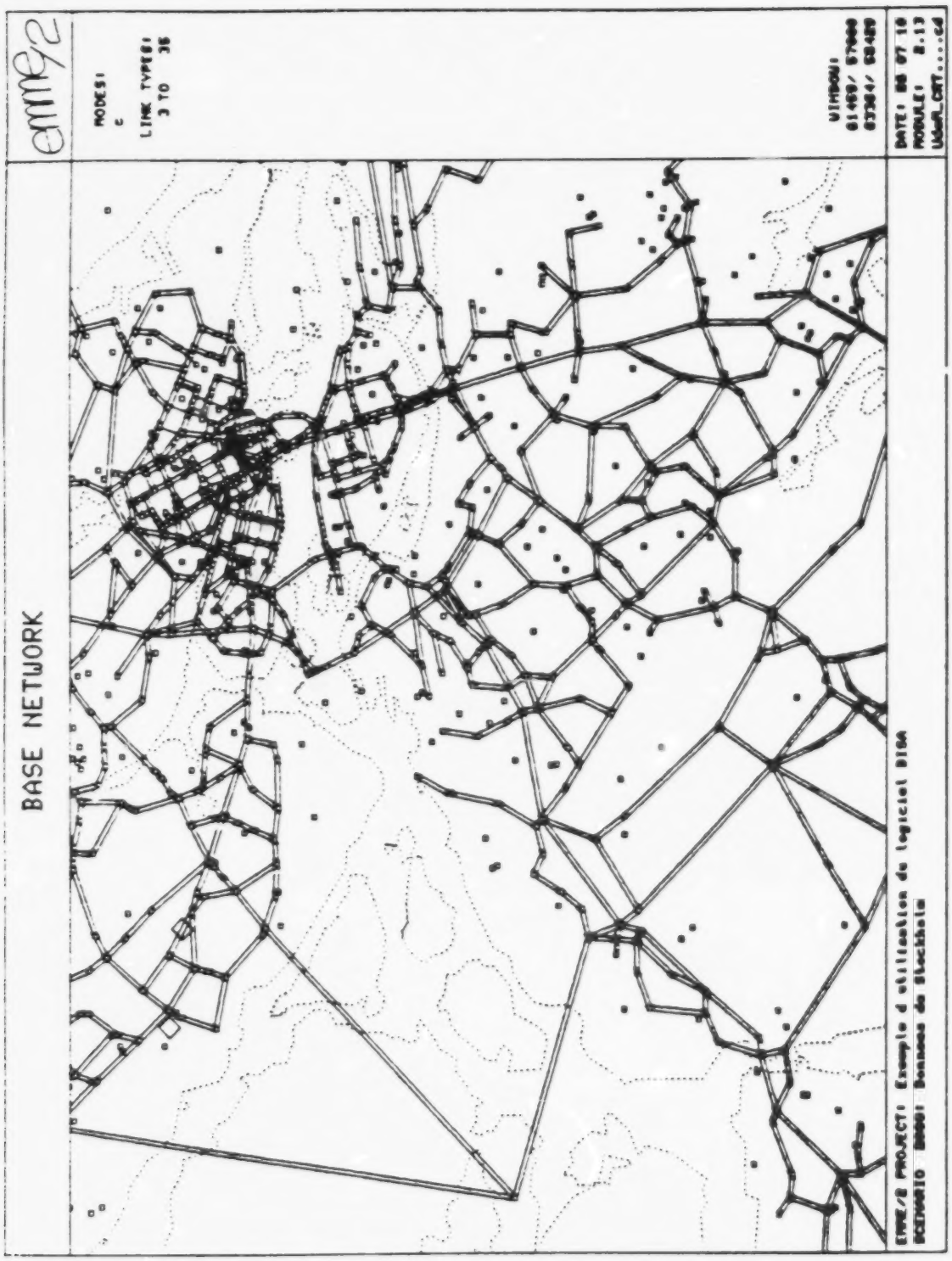

FIGURE 5-1: Le réseau routier

FIGURE 5-2: Le réseau d'autobus local

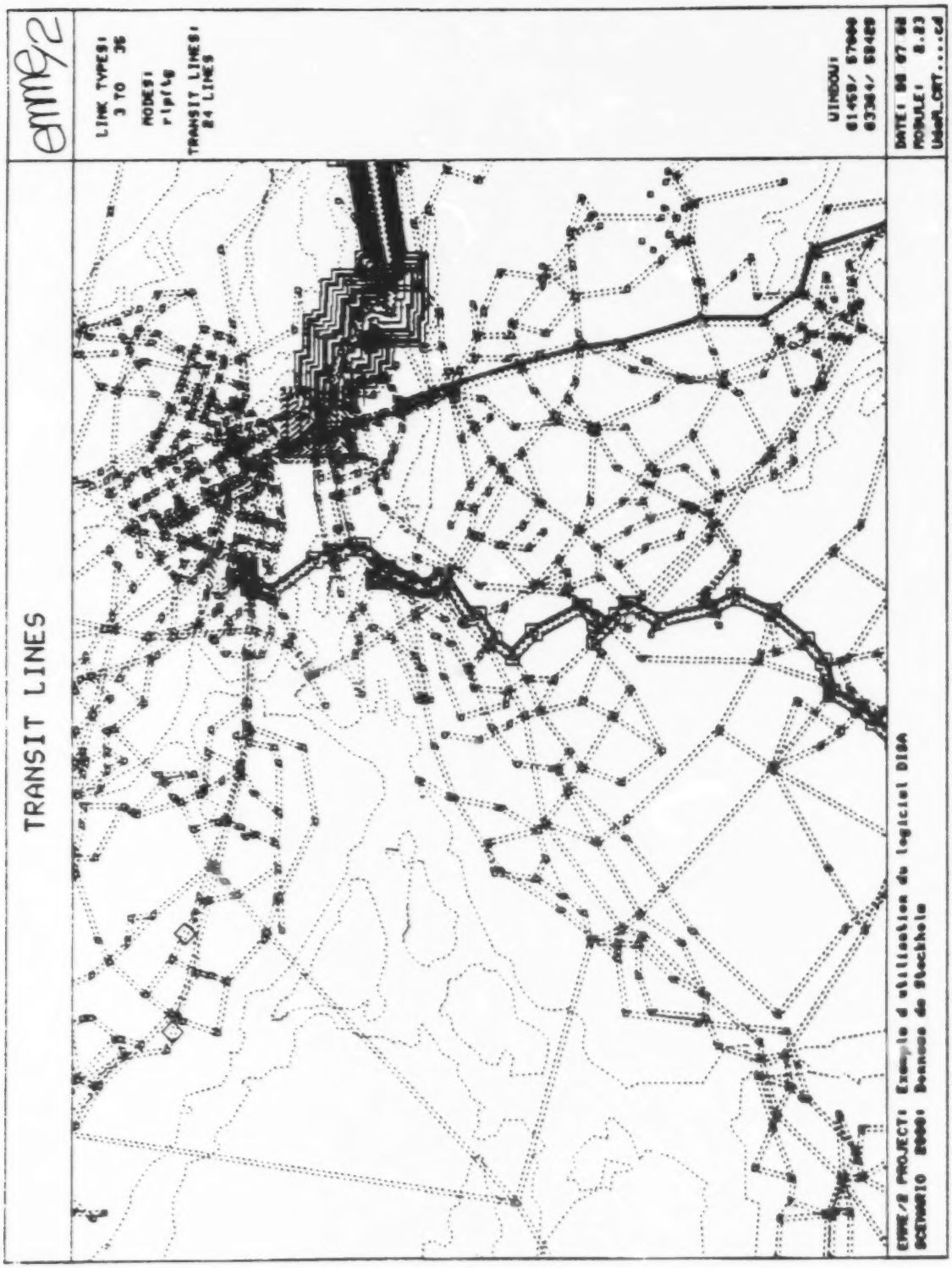

FIGURE 5-7: Le réseau d'autobus régional

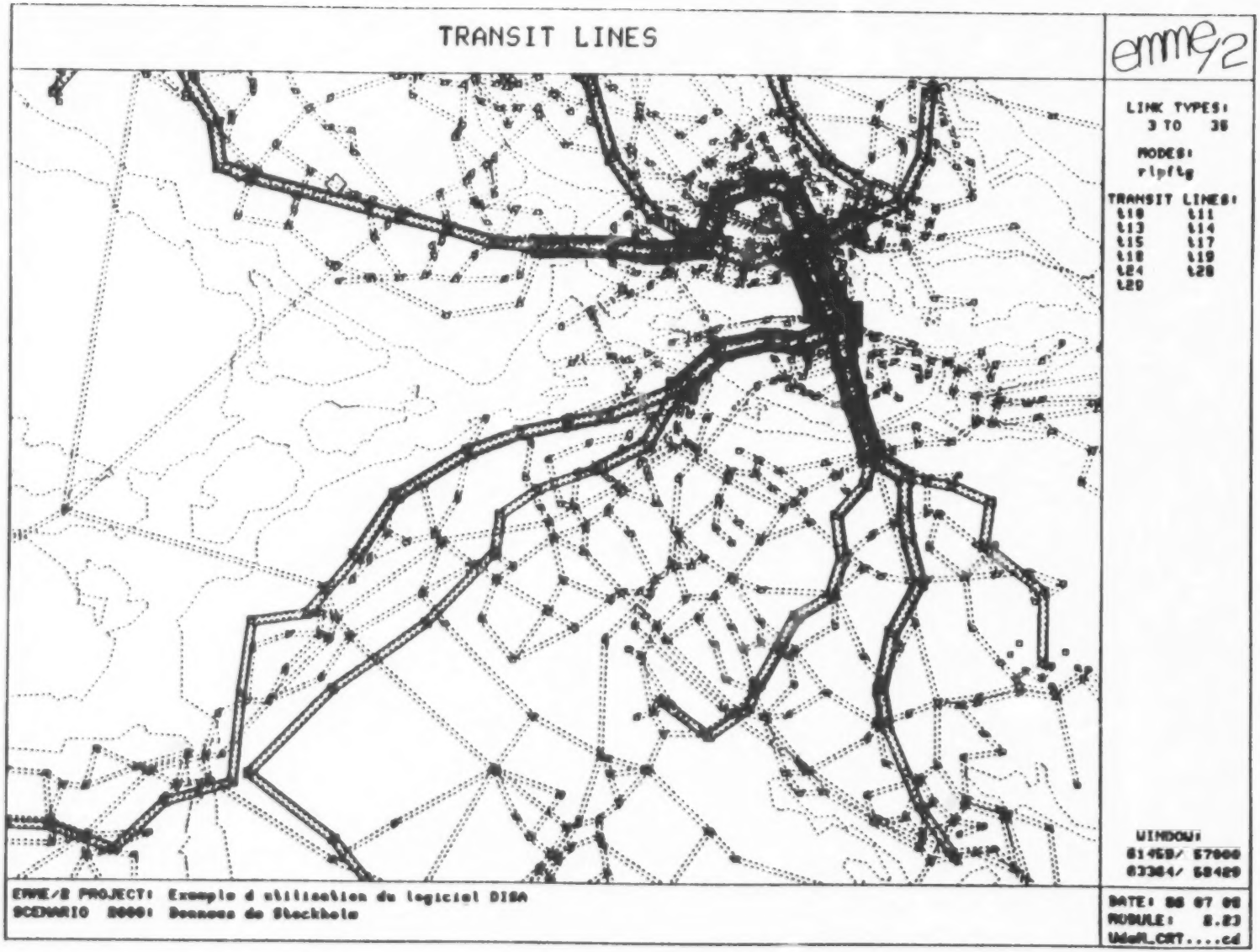

FIGURE 5-4: Le réseau de métro

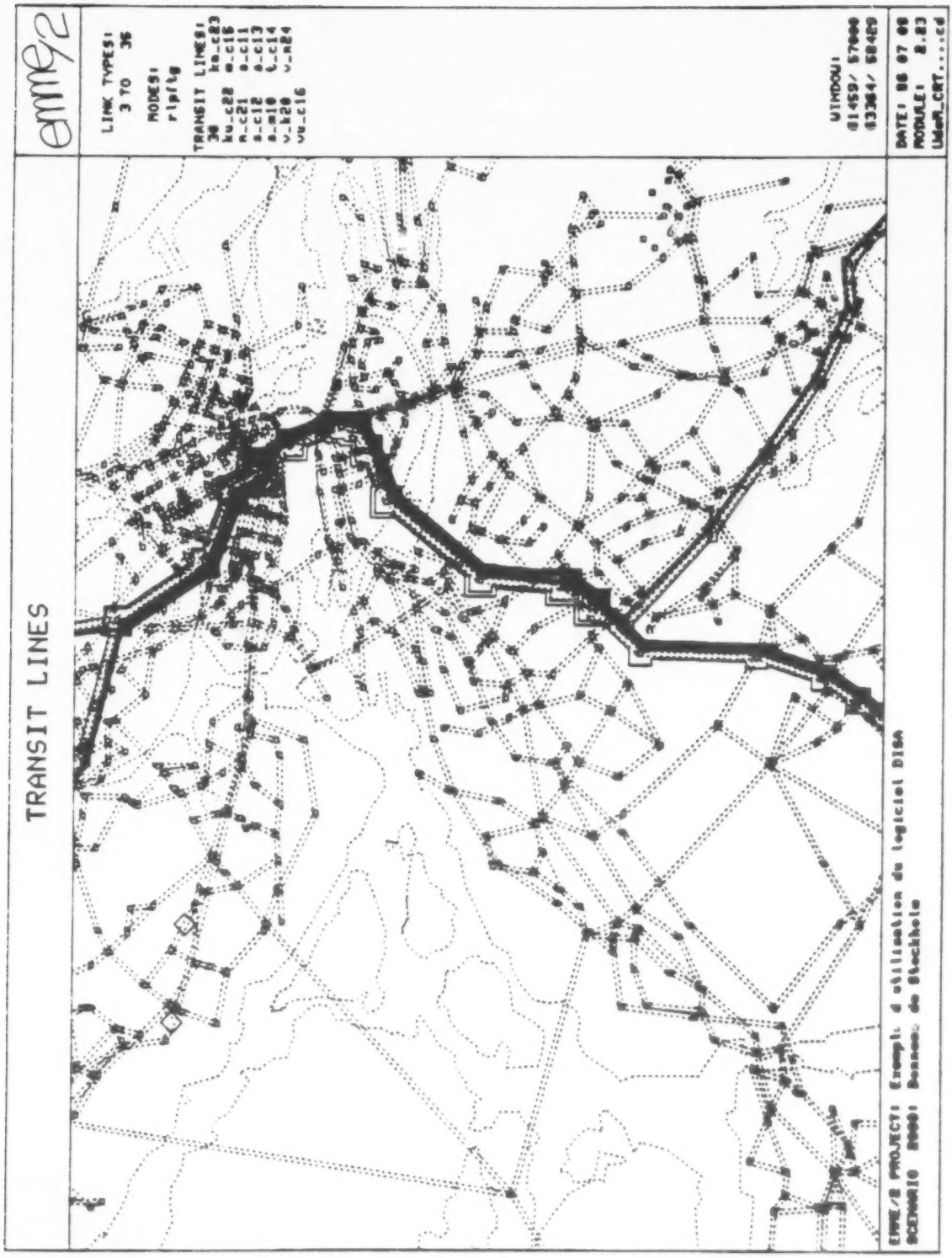

FIGURE 5-5: Le réseau de train de banlieue - pendel-tog

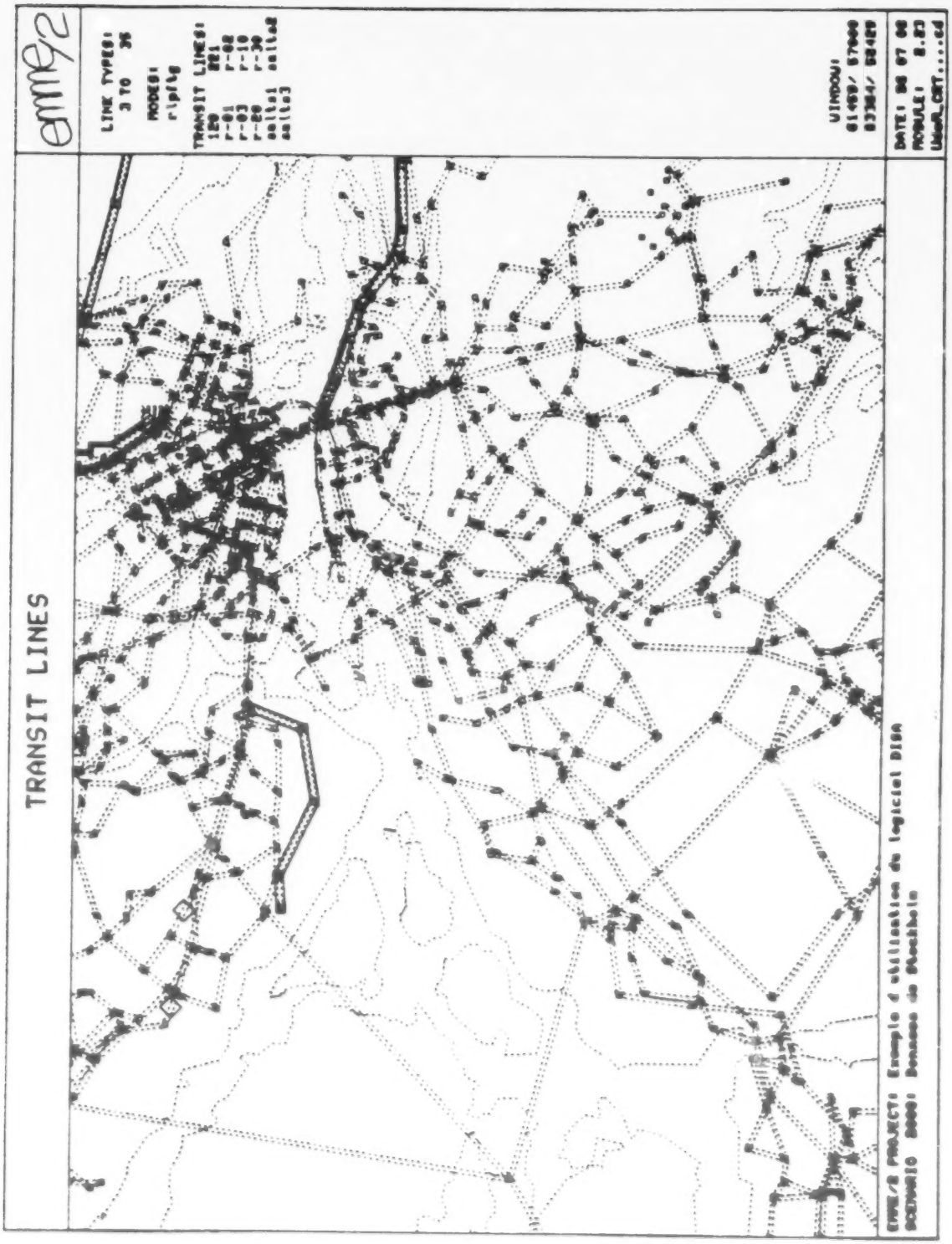

FIGURE 5-6: Le réseau de train de banlieue - jvq

Cette énumération des modes de transport disponibles nous suggère de considérer les combinaisons de modes suivantes:

A - autobus local et marche;

B - autobus régional, autobus local et marche;

C - métro, autobus local et marche;

D - train de banlieue, autobus local et marche;

E - "jvg", autobus local et marche;

F - auto.

Il serait intéressant de considérer des options plus "pures" comme, par exemple, métro et marche. Cependant, cela n'est pas possible avec le réseau dont nous disposons, car le mode "marche" n'est permis que sur peu de liens. Le sous-réseau qui correspond au sous-ensemble de modes métro et marche n'étant pas connexe, il n'est pas toujours possible de calculer une stratégie qui permette d'aller de l'origine à la destination considérées.

A l'aide du module 5.11 "Préparation d'un scénario pour une affectation", nous avons spécifié une option pour chacune des combinaisons de modes présentées plus haut, avec les paramètres suivants:

- poids associé au temps-en-véhicule de chaque mode: 1;
- poids associé au temps d'attente: 1;
- poids associé au temps d'utilisation de modes auxiliaires: 1;
- poids associé au temps d'embarquement: 1.5;
- facteur de temps d'attente: 0.5;

- temps d'embarquement: 5 minutes.

Ces paramètres sont utilisés par les analystes de Stockholm lorsqu'ils effectuent une affectation du transport en commun. Ils devraient donc correspondre au comportement des voyageurs considérés ici.

Lors de la spécification des options, il est préférable de choisir des paramètres qui correspondent à des patrons de comportement connus. Cependant, nous soupçonnons que, à partir d'un certain point, le choix de route n'est plus sensible à une variation des poids. Par exemple, les routes calculées en associant au temps d'attente un poids de 10 ou de 20 seront probablement semblables. Dans les deux cas, les voyageurs auront tendance à éviter l'attente, si cela leur est possible.

Pour vérifier cette hypothèse, nous avons considéré deux options qui ne se différencient que par un poids. Les modes permis sont l'autobus local et la marche. Les poids associés au temps d'attente et d'utilisation de modes auxiliaires sont égaux à 1. Le temps d'embarquement est de 5 minutes et le poids qui lui est associé est de 5 pour la première option et 10 pour la seconde. A l'aide du module 5.92, nous avons calculé les stratégies qui correspondent à ces deux options, pour tous les voyages retenus. Effectivement, à part quelques petites différences d'ordre numérique, les stratégies calculées sont identiques pour ces deux options.

Pour traiter l'option auto, nous avons ajouté un mode auxiliaire, dont le "facteur de temps" est égal à 1, sur tous les liens où le mode auto est permis. Dans le module 5.92, les stratégies sont donc calculées en utilisant le temps de parcours de ces liens en auto.

Pour chacune des options considérées, le fichier qui contient les coordonnées d'origine et de destination ainsi que les noeuds d'accès/issue a été filtré par le module 5.92. La vitesse d'accès/issue a été fixée à 5 km/h, le volume à 100, le paramètre de dispersion à 1 et le paramètre de coupure à 0,05. Nous avons consulté les rapports produits par le module 5.92 pour effectuer la comparaison entre les observations et les stratégies calculées. Le tableau 5-2 contient la stratégie calculée pour l'option C (métro, autobus local et marche) pour un voyageur qui veut se rendre de (62827,58148) à (62025,58229). Pour cette stratégie, la probabilité associée à l'observation est de 100,00%. Le rapport de la stratégie calculée indique que le voyageur peut accéder au métro à trois stations différentes (71, 181 ou 271). De plus, le voyageur doit effectuer une correspondance avec l'autobus afin d'atteindre sa destination.

A l'aide du module 6.22 "Affichage des volumes - transport en commun", nous avons pu visualiser certaines stratégies. Un graphique qui illustre la stratégie décrite plus haut a été obtenu grâce à ce module et est reproduit à la figure 5-7. L'origine et la destination du voyage sont indiquées par des croix.

Coordinates (From,to): 62827 58148 62025 58229

Strategy:

At	to	mode	line	volume	impedance	waiting	boarding	headway	time
origin				100.00	66.50	-	-	-	-
	102	$		0.00	######	-	-	-	1.68
	112	$		62.33	63.76	-	-	-	2.55
	113	$		37.67	64.71	-	-	-	2.10
113				37.67	64.71	1.02	5.00	-	-
	246	l	arl	7.67	53.41	-	-	10.00	1.36
	253	l	39	7.67	56.50	-	-	10.00	5.00
	105	l	42	6.98	57.00	-	-	11.00	2.00
	105	l	41	15.35	57.00	-	-	5.00	2.00
112				62.33	63.76	-	-	-	-
	135	g		62.33	63.76	-	-	-	0.55
	81	g		62.33	63.21	-	-	-	6.66
	71	g		62.33	56.55	-	-	-	1.66
105				22.32	55.00	-	-	-	-
	181	g		22.32	55.00	-	-	-	1.11
71				62.33	54.89	2.50	5.00	-	-
	6210	t	t18	31.16	44.88	-	-	10.00	18.50
	6210	t	t17	31.16	44.88	-	-	10.00	18.50
181				22.32	53.89	2.50	5.00	-	-
	6210	t	t18	11.16	43.88	-	-	10.00	17.50
	6210	t	t17	11.16	43.88	-	-	10.00	17.50
246				7.67	52.05	-	-	-	-
	271	g		7.67	52.05	-	-	-	1.66
253				7.67	51.50	-	-	-	-
	271	g		7.67	51.50	-	-	-	1.11
271				15.35	50.39	2.50	5.00	-	-
	6210	t	t18	7.67	40.38	-	-	10.00	14.00
	6210	t	t17	7.67	40.38	-	-	10.00	14.00
6210				100.00	26.38	-	-	-	-
	3557	g		100.00	26.38	-	-	-	1.66
3557				100.00	24.72	6.00	5.00	-	-
	3566	l	117	100.00	11.22	-	-	12.00	3.38
3567				0.00	4.13	-	-	-	-
	destination	$		0.00	-	-	-	-	4.14
3566				100.00	7.84	-	-	-	-
	destination	$		100.00	-	-	-	-	7.84

Time components:

	inveh	wait	board	nbotr	auxtr	access	egress	nboaux
l lokalbuss	4.31	6.38	6.88	1.38	-	-	-	-
t tunnelbana	17.59	2.50	5.00	1.00	-	-	-	-
g gång -	-	-	-	7.65	5.53	0.00	2.00	
$ access/egress	-	-	-	-	10.22	2.38	7.84	2.00
Total:	21.90	8.88	11.88	2.38	17.87	7.91	7.84	4.00

CPU time: strategy: 3.39 (3.39) total: 4.13 (4.13)

TABLEAU 5-2: Rapport d'une stratégie

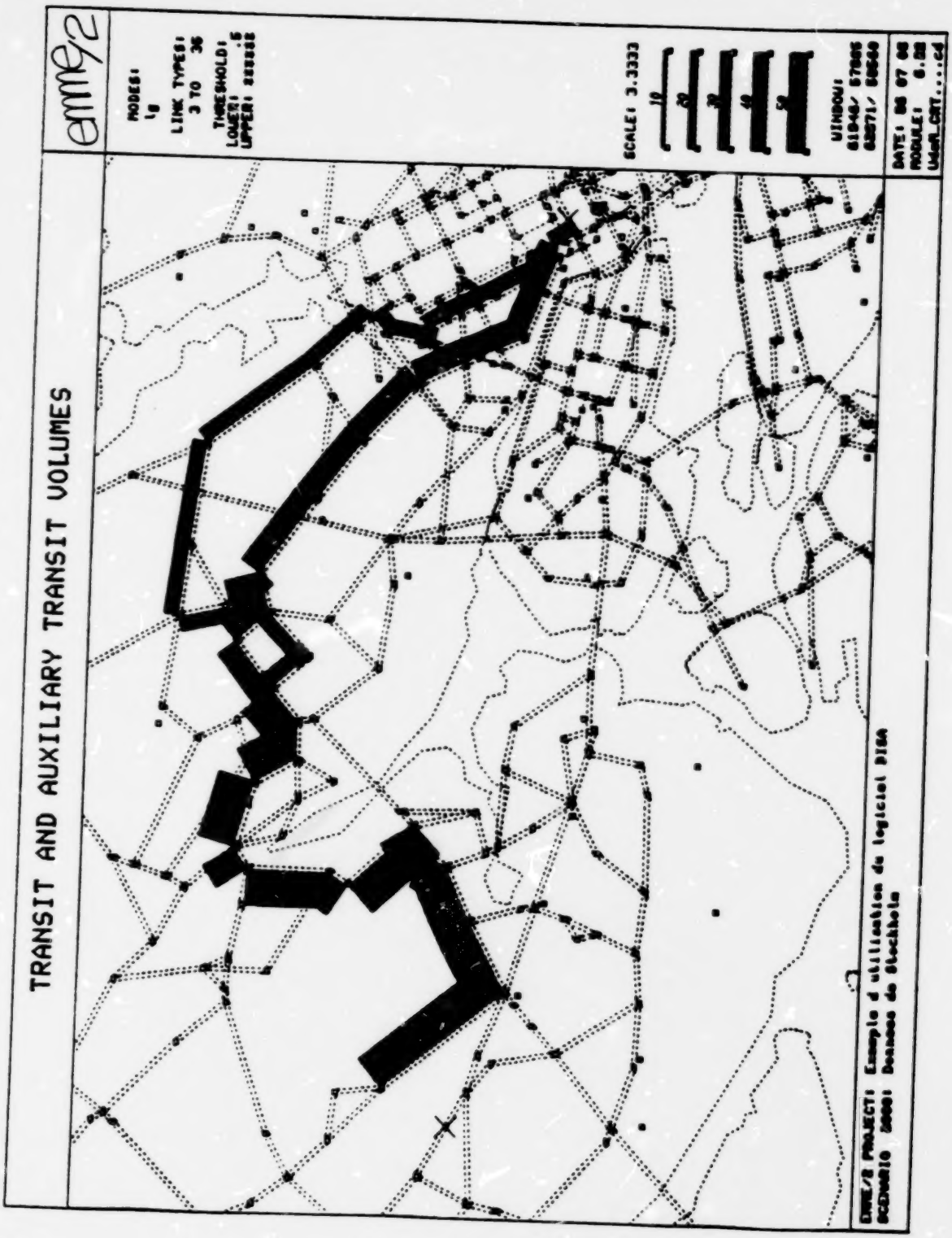

FIGURE 5-7: Représentation graphique d'une stratégie

Le tableau 5-3 décrit les voyages considérés. L'observation disponible se limite au mode de transport utilisé, sauf dans le cas de l'autobus local ou la ligne empruntée est également indiquée. Les dernières colonnes du tableau montrent à laquelle des options considérées correspond l'observation.

Coordonnées	Observation	Options					
		A	B	C	D	E	F
61854 58252 62211 58459	autobus local: 113	X					
62211 58429 61854 58252	autobus local: 113	X					
61753 58429 61854 58252	auto						X
" " " "	auto						X
61854 58252 62914 57925	métro			X			
" " " "	auto						X
" " " "	auto						X
62914 57925 61854 58252	auto						X
" " " "	auto						X
" " " "	auto						X
62914 57925 62835 58147	auto						X
62835 58147 62914 57925	auto						X
61854 58252 62858 58212	métro			X			
" " " "	auto						X
62858 58212 61854 58252	métro			X			
" " " "	auto						X
61854 58252 63090 57712	auto						X
63090 57712 61854 58252	auto						X
61854 58252 61753 58429	auto						X
62025 58229 62835 58147	métro			X			
62835 58147 62025 58229	métro			X			
62025 58229 62894 58156	métro			X			
" " " "	auto						X
62894 58156 62025 58229	auto						X
" " " "	auto						X
62025 58229 62849 57864	auto						X
62849 57864 63077 57519	auto						X
63077 57519 63000 57000	auto						X
62025 58229 62827 58148	métro			X			
62827 58148 62025 58229	métro			X			

TABLEAU 5-3: Description des voyages retenus

Toutes les observations correspondent à une des options considérées, ce qui est fort satisfaisant. Par contre, les options B (autobus régional), D (train de banlieue) et E (jvg) ne correspondent à aucune observation.

En examinant le rapport du module 5.92 pour l'option B, nous avons constaté que le mode autobus régional n'était utilisé dans aucune des stratégies calculées. C'est le même cas pour l'option E, où le mode jvg n'est jamais utilisé. Quant à l'option D, le rapport nous indique que le mode train de banlieue n'est pas utilisé dans toutes les stratégies et, lorsqu'il l'est, la probabilité qui lui est associée est assez faible. Les figures 5-3, 5-5 et 5-6 nous fournissent une explication: ces trois modes ne sont pas vraiment disponibles pour tous les déplacements considérés. En effet, la plupart des déplacements sont effectués entre les deux résidences des familles interrogées - situées au nord-ouest du réseau illustré sur ces figures - et le centre-ville - situé au nord-est. Cela explique pourquoi les voyageurs n'ont choisi aucune de ces trois options.

6. CONCLUSION

Nous avons conçu un ensemble d'outils qui constitue une interface entre des données individuelles et un réseau de transport multimodal. Ces outils remplissent plusieurs fonctions nécessaires pour la calibration et l'utilisation de modèles désagrégés de choix dans le contexte du transport urbain. La structure de "filtres" que nous avons proposée pour cet ensemble d'outils lui confère une grande souplesse.

A l'aide des concepts élaborés au cours de la première phase de ce travail, nous avons développé le système DISA. Celui-ci consiste en un ensemble de modules incorporés au logiciel EMME/2. Pour la première phase de développement de DISA, nous avons mis l'accent sur les outils qui nous semblaient les plus importants:

- la sélection des noeuds d'accès/issue associés à l'origine et à la destination d'un voyageur;
- le calcul de la stratégie optimale entre l'origine et la destination d'un voyageur, pour une option donnée;
- l'évaluation des attributs, plus particulièrement des composantes de temps, de cette stratégie.

Remarquons que l'utilisation de DISA n'est pas limitée au contexte des modèles désagrégés de choix. Ce système permet également d'effectuer des analyses très détaillées des déplacements par transport en commun. A l'aide de DISA il est possible, bien que parfois coûteux en temps d'exécution, d'effectuer une *affectation désagrégée.* Celle-ci consiste à

affecter individuellement tous les voyages considérés, chacun ayant une origine et une destination précises, au lieu d'affecter une matrice de demande comme c'est le cas traditionnellement.

Tout au long de ce travail, nous avons bénéficié de l'expérience acquise pour la conception et l'implantation du logiciel EMME/2. De plus, l'accès à la bibliothèque des sous-programmes de EMME/2 ainsi qu'au programme source de l'affectation de transport en commun a beaucoup accéléré l'implantation de DISA.

Les travaux de développement ont été effectués sur les stations de travail graphiques Sun-2 du département d'Informatique et de Recherche Opérationnelle. L'intérêt pour notre système, manifesté par quelques utilisateurs de EMME/2, a été une grande motivation au cours de sa réalisation. DISA est maintenant implanté à Stockholm (Suède), sur un VAX 11/750, et à Portland (Orégon), sur un Pixel 100.

De nouveaux modules viendront se greffer au système actuel, à court ou moyen terme. L'exemple d'utilisation de DISA, présenté au chapitre cinq, nous a fait sentir le besoin d'un module qui effectuerait la comparaison entre une observation et une stratégie calculée. L'ajout de modules graphiques rendrait le système plus souple, et son utilisation plus agréable. La sélection des noeuds d'accès/issue pourrait être faite de façon plus interactive, au moyen d'une feuille de travail graphique, par exemple. Nous prévoyons aussi un module qui permettra l'affichage graphique d'une stratégie.

Certaines améliorations aux deux modules existants sont également prévues. Entre autres, le module 5.91 "Sélection des noeuds d'accès/issue" sera modifié pour permettre d'associer, à une paire de points, une entrée dans une matrice choisie par l'usager et contenue dans la banque de données. Le programme déterminera le centroïde le plus proche de chacun des deux points, puis lira l'entrée correspondante dans la matrice spécifiée par l'usager. DISA deviendra ainsi une véritable interface entre données désagrégées et agrégées.

APPENDICE A

Description des données associées aux individus

L'entrée des données associées aux individus se fait en suivant les règles de EMME/2 pour l'entrée en format libre. Ces données peuvent être entrées sur plus d'une ligne, mais il faut alors respecter les règles supplémentaires suivantes:

- la première ligne doit avoir un "a" en première colonne;
- le premier item d'une ligne de continuation doit être précédé d'un mot-clef, même si l'ordre des données est respecté.

Voici la description des items de données requis ou reconnus par les modules 5.91 et 5.92.

1) coordonnées d'origine et de destination:

- obligatoire pour les modules 5.91 et 5.92;
- mots-clefs: "x1=", "y1=", "x2=" et "y2=";
- 4 réels.

2) noeuds d'accès et d'issue:

- obligatoire pour le module 5.92;
- mots-clefs: "acnod=" et "egnod=";

- 2 items alphanumériques où les numéros des noeuds sont séparés les uns des autres par un "-" (moins). Exemple: acnod=1042-1046-1060 egnod=253. Un maximum de 10 noeuds d'accès et de 10 noeuds d'issue par individu sont permis. Ce maximum est un paramètre de compilation.

3) distance maximum pour la sélection des noeuds d'accès/issue:

- facultatif pour le module 5.91 (non reconnu par le module 5.92);
- mot-clef: "dmax=";
- 1 réel (dmax > 0.).

4) nombre maximum de noeuds à sélectionner:

- facultatif pour le module 5.91 (non reconnu par le module 5.92);
- mot-clef: "nmax=";
- 1 entier ($1 \leq nmax \leq 10$) :le maximum de 10 est un paramètre de compilation.

5) vitesse d'accès/issue: utilisée pour calculer le temps requis pour se rendre des coordonnées d'origine aux noeuds d'accès, et des noeuds d'issue aux coordonnées de destination.

- facultatif pour le module 5.92 (filtré par le module 5.91);
- mot-clef: "spd=";
- 1 réel (spd > 0.).

6) volume à affecter sur la stratégie calculée:

- facultatif pour le module 5.92 (filtré par le module 5.91);
- mot-clef: "vol=";
- 1 réel (vol > 0.).

7) paramètre de dispersion: utilisé pour calculer la probabilité pour chaque noeud d'accès d'être choisi.

- facultatif pour le module 5.92 (filtré par le module 5.91);
- mot-clef: "phi=";
- 1 réel (phi > 0.).

8) paramètre de coupure: si la probabilité qu'un noeud d'accès soit choisi est plus petite que cette valeur, elle sera distribuée entre les autres noeuds d'accès.

- facultatif pour le module 5.92 (filtré par le module 5.91);
- mot-clef: "eps=";
- 1 réel (0. < eps < 100.).

9) données définies par l'usager: données numériques associées à un individu.

- facultatif pour le module 5.92 et pour le module 5.91;
- mots-clefs: "u1=", "u2=" et "u3=";
- 3 réels.

BIBLIOGRAPHIE

ANDREASSON I., *A Method for the Analysis of Transit Networks*, 2nd European Congress on Operations Research (Mark Roubens, ed.), North Holland, 1976.

BABIN A., FLORIAN M., JAMES-LEFEBVRE L. et SPIESS H., *EMME/2: Interactive Graphic Method for Road and Transit Planning*, Transportation Research Record 866 pp 1-9, 1982.

CHAPLEAU R., *Réseaux de Transport en Commun: Structure informatique et Affectation*, thèse de doctorat, Dép. I.R.O., Université de Montréal, 1974.

CHRIQUI C. et ROBILLARD P., *Common Bus Lines*, Transportation Science 9, pp 115-121, 1975.

DAGANZO C., Multinomial Probit: The Theory and its Applications to Demand Forecasting, Academic Press, New York, 1979.

DIAL R.B., *A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Model which Obviates Path Enumeration*, Transportation Research Vol 5, 1971.

DOMENCICH T.A. et MC FADDEN D., Urban Travel Demand: A Behavioral Approach, North Holland, Amsterdam, 1975.

FEARNSIDE K. et DRAPER D.P., *Public Transport Assignment - A New Approach*, Traffic Engineering and Control, pp 298-299, November 1971.

GAUDRY M.J.I. et DAGENAIS M.G., *The DOGIT model*, Transportation Research B 13, 1979.

HALL M.D., VAN VLIET D. et WILLUMSEN L.G., *Assignment Model for the Evaluation of Traffic Management Schemes*, **Traffic Engineering and Control** 21, pp 168-179, 1980.

LE CLERCQ F., *A Public Transport Assignment Method*, **Traffic Engineering and Control**, pp 91-96, June 1972.

LERMAN, S.R., *Recent Advances in Disaggregate Demand Modelling*, ***Transportation Planning Models***, Florian éditeur, North Holland, Amsterdam, 1984.

MC FADDEN D.L., *Modelling and Choice of Residential Location*, **Spatial Interaction Theory and Planning Models**, Karlquist et al. éditeurs, North Holland Press, Amsterdam, 1978.

NGUYEN S. et JAMES L., *TRAFFIC - An Equilibrium Assignment Program*, Publication #17, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, 1975.

RAPP M.H., *Transit System Planning: A Man - Computer Interactive Approach*, **Highway Research Record** 415, pp 95-103, 1972.

RAPP M.H., MATTENBERGER P., PIGUET S. et ROBERT-GRANDPIERRE A., *Interactive Graphic System for Transit Route Optimization*, **Transportation Research Record 619**, 1976.

RIEPL R.J. and GEHNER C.D., *Interactive Graphics in Europe: Three Computer-Aided Transportation Tools*, **Computer Graphics**, Vol. 1, No. 13, pp 18-25, 1978.

SPIESS H., *Contributions à la théorie et aux outils de planification des réseaux de transport urbain*, publication #382, Centre de Recherche sur les Transports, Université de Montréal, 1984.

TRIBOULT L., *DAVIS sous SITERT - Présentation*, Institut de Recherche des Transports, Département Informatique, Université de Grenoble, France, 1979.

UMTA/FHWA, *UTPS Reference Manual*, U.S. Department of Transportation, 1977.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier:

Michael Florian, mon directeur de recherche. Sa grande expérience et l'appui soutenu qu'il m'a apporté ont contribué grandement à la réalisation de ce projet. Il m'a aussi donné la chance d'effectuer tout ce travail dans des conditions fort stimulantes.

Heinz Spiess, mon co-directeur de recherche. J'ai beaucoup apprécié ses conseils, ses critiques très constructives et surtout la profusion d'idées qu'il m'a proposées.

Staffan Algers et Göran Tegner, du "Stockholms Läns Landsting Trafikkontoret". L'intérêt qu'ils ont manifesté pour ce projet a permis d'allier rapidement la théorie et la pratique, ce qui a été une stimulation importante tout au long de ce travail.

Diane Larin. Par ses encouragements et surtout l'aide soutenue qu'elle m'a apportée, elle a contribué beaucoup à la production de la version finale de ce mémoire.

Maxime, mon ami. Son support moral a été très important pendant tout ce temps.